

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 26/03/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Araraquara

CAMILA CRISTINA BACCETTI MEDEIROS

QUALIDADE ESPECTRAL NA PRODUÇÃO DE *Physalis angulata* EM *PLANT FACTORIES*: UMA ABORDAGEM BIOTECNOLÓGICA PARA O ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E TÓXICA DE EXTRATOS E SUAS FORMULAÇÕES EMULSIONADAS

Araraquara
2026

CAMILA CRISTINA BACCETTI MEDEIROS

QUALIDADE ESPECTRAL NA PRODUÇÃO DE *Physalis angulata* EM *PLANT FACTORIES*: UMA ABORDAGEM BIOTECNOLÓGICA PARA O ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E TÓXICA DE EXTRATOS E SUAS FORMULAÇÕES EMULSIONADAS

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosemeire Cristina Linhari Rodrigues Pietro

Araraquara

2026

M488q

Medeiros, Camila Cristina Baccetti

Qualidade espectral na produção de *Physalis angulata* em plant factories :
uma abordagem biotecnológica para o estudo da atividade antimicrobiana e
tóxica de extratos e suas formulações emulsionadas / Camila Cristina Baccetti
Medeiros. -- Araraquara, 2026
162 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de
Ciências Farmacêuticas, Araraquara

Orientadora: Rosemeire Cristina Linhari Rodrigues Pietro

1. Biotecnologia vegetal. 2. Metabólitos secundários. 3. Ação
antimicrobiana. 4. Emulsão (Farmácia). 5. Biocompatibilidade. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE ESPECTRAL NA PRODUÇÃO DE *Physalis angulata* EM PLANT FACTORIES: UMA ABORDAGEM BIOTECNOLÓGICA PARA O ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E TÓXICA DE EXTRATOS E SUAS FORMULAÇÕES EMULSIONADAS

AUTORA: CAMILA CRISTINA BACCETTI MEDEIROS

ORIENTADORA: ROSEMEIRE CRISTINA LINHARI RODRIGUES PIETRO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências, área: Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ROSEMEIRE CRISTINA LINHARI RODRIGUES PIETRO (Participação Presencial)
Departamento de Fármacos e Medicamentos / UNESP / Câmpus de Araraquara - FCF

Profa. Dra. ANA HELENA JANUÁRIO (Participação Presencial)
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Prof. Dr. EDVÂNIO RAMOS RODRIGUES (Participação Virtual)
Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé (UNIFEG)

Profa. Dra. TAIS MARIA BAUAB (Participação Presencial)
Departamento de Ciências Biológicas / UNESP / Câmpus de Araraquara - FCF

Prof. Dr. MARLUS CHORILLI (Participação Presencial)
Departamento de Fármacos e Medicamentos / UNESP / Câmpus de Araraquara - FCF

Araraquara, 26 de março de 2026.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me conduzir, mesmo nos momentos em que o caminho parecia incerto.

Ao meu marido e ao meu filho, por serem minha base, meu suporte e a razão de cada passo até aqui.

Aos meus pais, por todo o amor, pela presença constante e por sempre vibrarem com cada conquista minha.

À minha irmã, por sempre me defender, me acolher e estar ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus cunhados, pelo incentivo, pelo otimismo e por tornarem essa caminhada mais leve.

Aos meus tios, tias, primas, padrinhos e madrinhas, e aos meus amigos, por proporcionarem momentos de alegria e leveza ao longo de uma caminhada desafiadora.

Aos amigos da faculdade, pelos momentos de aprendizado, pelas trocas e pela parceria nos desafios vividos ao longo desta trajetória, além dos cafés e salgadinhos que tornaram tudo mais leve.

A amigos muito especiais, pela presença em momentos fundamentais desta trajetória, seja na realização dos experimentos, no cuidado com meu filho ou no incentivo constante.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, pelas parcerias, pelos ensinamentos e pela colaboração ao longo desta trajetória, contribuindo para a realização deste trabalho.

Aos professores de instituições externas, pelas parcerias estabelecidas e pelas relevantes contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora, pela confiança e, especialmente, pelo incentivo e acolhimento em momentos importantes da minha trajetória, como durante a gestação e no retorno após a licença. Agradeço pela paciência, pela gentileza, pelas conversas e por compartilhar suas experiências ao longo dessa caminhada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A crescente resistência microbiana tem impulsionado a busca por alternativas terapêuticas, e o cultivo indoor com LEDs surge como ferramenta capaz de modular a fisiologia vegetal e direcionar a produção de metabólitos bioativos. Nesse contexto, este estudo investigou a influência de qualidades espectrais de luz sobre o desempenho fisiológico de *Physalis angulata*, caracterizou seus extratos e avaliou atividades antioxidante, antimicrobiana, perfil de irritação e toxicidade, além de desenvolver emulsão como estratégia de aplicação. Plantas foram cultivadas sob LEDs azul, vermelho, branco e combinação RBW (azul, vermelho e branco), além de controle em luz natural, sendo avaliadas aos 30 e 90 dias quanto a parâmetros fotossintéticos, fluorescência da clorofila e perfil cromatográfico por HPLC-DAD. Extratos clorofórmicos de partes aéreas e raízes foram submetidos a ensaios antioxidantes (DPPH), antimicrobianos (CIM e CBM/CFM) e modelos alternativos de biocompatibilidade (HET-CAM) e toxicidade (*Galleria mellonella*), e os mais ativos incorporados em emulsão para avaliação antimicrobiana (difusão em ágar) e comportamento reológico. A qualidade espectral modulou a fisiologia, com maior eficiência fotossintética sob luz azul e menor sob luz vermelha. Os extratos das partes aéreas apresentaram maior rendimento e diversidade química aos 90 dias, com picos de metabólitos lipofílicos. A atividade antioxidante foi mais expressiva em extratos da planta sob luz natural aos 90 dias ($CE_{50} = 120,54 \mu\text{g/mL}$). No perfil antimicrobiano, destacaram-se os extratos obtidos de plantas cultivadas sob luz vermelha e coletadas aos 90 dias, com atividade frente a *Staphylococcus aureus* (CIM = 0,62 mg/mL), enquanto o extrato de plantas cultivadas sob luz azul, coletadas aos 30 dias, apresentou CIM de 1,25 mg/mL contra *Candida glabrata* (*Nakaseomyces glabrata*), e efeito fungicida contra *Microsporum canis* (CFM = 2,5 mg/mL). No ensaio de difusão em ágar, a emulsão contendo extrato sob luz vermelha apresentou halo de inibição de crescimento de 27 mm frente a *Trichophyton rubrum* (10 mg/mL), superior ao extrato isolado. As emulsões apresentaram comportamento viscoelástico estruturado, e os extratos não apresentaram irritação nem toxicidade sistêmica. Conclui-se que o controle espectral da luz no cultivo indoor constitui estratégia eficaz para modular a fisiologia, o metabolismo secundário e o desempenho tecnológico de *P. angulata*, ampliando seu potencial biotecnológico.

Palavras-chave: Cultivo indoor; LEDs; Metabólitos bioativos; Toxicidade sistêmica; Irritação; Reologia.

ABSTRACT

The increasing microbial resistance has driven the search for alternative therapeutic strategies, and indoor cultivation using LEDs has emerged as a tool capable of modulating plant physiology and directing the production of bioactive metabolites. In this context, this study investigated the influence of spectral light qualities on the physiological performance of *Physalis angulata*, characterized its extracts, and evaluated antioxidant and antimicrobial activities, as well as irritation and toxicity profiles, in addition to developing an emulsion as an application strategy. Plants were cultivated under blue, red, and white LEDs, and their combination (RBW: red, blue, and white), along with a natural light control, and evaluated at 30 and 90 days for photosynthetic parameters, chlorophyll fluorescence, and chromatographic profile by HPLC-DAD. Chloroform extracts from aerial parts and roots were subjected to antioxidant (DPPH) and antimicrobial (MIC and MBC/MFC) assays, as well as alternative models for biocompatibility (HET-CAM) and toxicity (*Galleria mellonella*). The most active extracts were incorporated into emulsions for antimicrobial evaluation (agar diffusion) and rheological behavior. Spectral quality modulated plant physiology, with higher photosynthetic efficiency under blue light and lower under red light. Extracts from aerial parts showed higher yield and chemical diversity at 90 days, with peaks corresponding to lipophilic metabolites. Antioxidant activity was more pronounced in extracts from plants grown under natural light at 90 days ($EC_{50} = 120.54 \mu\text{g/mL}$). In the antimicrobial profile, extracts obtained from plants cultivated under red light and collected at 90 days showed activity against *Staphylococcus aureus* (MIC = 0.62 mg/mL). Extracts from plants grown under blue light and collected at 30 days exhibited MIC of 1.25 mg/mL against *Candida glabrata* (*Nakaseomyces glabrata*), as well as fungicidal activity against *Microsporum canis* (MFC = 2.5 mg/mL). In the agar diffusion assay, the emulsion containing extract from plants grown under red light showed a growth inhibition halo of 27 mm against *Trichophyton rubrum* (10 mg/mL), higher than the isolated extract. Emulsions exhibited structured viscoelastic behavior, and the extracts showed no irritation or systemic toxicity. These findings demonstrate that spectral light control in indoor cultivation is an effective strategy to modulate physiology, secondary metabolism, and the technological performance of *P. angulata*, enhancing its biotechnological potential.

Keywords: Indoor cultivation; LEDs; Bioactive metabolites; Systemic toxicity; Irritation; Rheology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologia comparativa de diferentes espécies do gênero <i>Physalis</i>	27
Figura 2 - Representações morfológicas de <i>Physalis angulata</i>	28
Figura 3 - Panorama da distribuição mundial de <i>Physalis angulata</i>	29
Figura 4 - Estruturas químicas representativas dos principais tipos de vitanolídeos presentes em <i>Physalis angulata</i>	32
Figura 5 - Registros fotográficos dos cultivos de <i>Physalis angulata</i> sob diferentes qualidades de luz artificial aos 30 (linha superior) e 90 dias (linha inferior).....	39
Figura 6 - Estágios de redução da resazurina.....	46
Figura 7 - Médias ajustadas e desdobramento da interação entre qualidade de luz e tempo de coleta para (A) taxa fotossintética e (B) concentração de CO ₂ no ar externo em plantas de <i>Physalis angulata</i>	65
Figura 8 - Médias ajustadas e desdobramento da interação entre a qualidade de luz e o tempo de coleta para a razão entre a taxa de assimilação de carbono e a concentração interna de dióxido de carbono (A/Ci) em plantas de <i>Physalis angulata</i>	66
Figura 9 - Médias ajustadas e desdobramento da interação entre a qualidade de luz e o tempo de coleta para a razão clorofila a/clorofila b (A) e clorofila b (B), e médias em função da qualidade de luz para clorofila a (C) e clorofila total (D) em plantas de <i>Physalis angulata</i>	68
Figura 10 - Médias em função da qualidade de luz para Fv/Fm (A), Fv/Fo (B), ϕDo (C) e PiABS (D) em plantas de <i>Physalis angulata</i>	70
Figura 11 - Médias ajustadas e desdobramento da interação entre a qualidade de luz e o tempo de coleta para os parâmetros ABS/RC (A), TRO/RC (B), ET ₀ /RC (C) e DI ₀ /RC (D) em plantas de <i>Physalis angulata</i>	72
Figura 12 - Percentual de variância explicada por cada componente principal (PCA).	73
Figura 13 - Contribuição e distribuição das variáveis fisiológicas no espaço dos componentes principais (PCA).	74
Figura 14 - Biplot da análise de componentes principais (PCA) com as dimensões 1 e 2, representando a distribuição das variáveis fisiológicas sob diferentes qualidades de luz.....	75

Figura 15 - Cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico das partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivadas sob diferentes condições de luz aos 30 dias.	79
Figura 16 - Cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> cultivadas sob diferentes condições de luz aos 90 dias.	80
Figura 17 - Cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico de raízes de <i>P. angulata</i> cultivadas sob diferentes condições de luz aos 90 dias: (A) azul, (B) branca, (C) vermelha e (D) RBW.	81
Figura 18 - Cromatogramas dos padrões de (A) rutina e (B) quercetina obtidos a 254 nm.	82
Figura 19 - CIM para <i>S. aureus</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	91
Figura 20 - CIM para <i>S. epidermidis</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	92
Figura 21 - CIM para <i>B. subtilis</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	92
Figura 22 - CIM para <i>P. aeruginosa</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	93
Figura 23 - CIM para <i>E. coli</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	93
Figura 24 - CIM para <i>C. glabrata</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	95
Figura 25 - CIM para <i>M. canis</i> sob diferentes condições de luz, partes da planta e momento de coleta.	97
Figura 26 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração de rutina (µg/mL). A equação da reta e o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9908$) indicam o ajuste linear obtido para o cálculo da CE_{50}	98
Figura 27 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração de quercetina (µg/mL). A equação da reta e o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9982$) indicam o ajuste linear obtido para o cálculo da CE_{50}	98
Figura 28 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração de ácido gálico (µg/mL).	98

Figura 29 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz natural (µg/mL).....	99
Figura 30 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz azul e coletada aos 30 dias (µg/mL).....	99
Figura 31 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz azul e coletada aos 90 dias (µg/mL).....	100
Figura 32 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz branca e coletada aos 30 dias (µg/mL).	100
Figura 33 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz branca e coletada aos 90 dias (µg/mL).	101
Figura 34 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz vermelha e coletada aos 30 dias (µg/mL).	101
Figura 35 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz vermelha e coletada aos 30 dias (µg/mL).	102
Figura 36 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz RBW e coletada aos 30 dias (µg/mL).....	102
Figura 37 - Curva de inibição do radical DPPH (%) em função da concentração do extrato de partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivada sob luz RBW e coletada aos 90 dias (µg/mL).....	103
Figura 38 - Resposta vascular da membrana corioalantoide de ovos fertilizados frente à aplicação dos controles e extratos das partes aéreas de <i>P. angulata</i> coletadas aos 30 dias de cultivo.....	105
Figura 39 - Resposta vascular da membrana corioalantoide de ovos fertilizados frente à aplicação de extratos das partes aéreas de <i>P. angulata</i> coletadas aos 90 dias de cultivo.	105

Figura 40 - Resposta vascular da membrana corioalantoide de ovos fertilizados frente à aplicação de extratos das raízes de <i>P. angulata</i> coletadas aos 90 dias de cultivo.	106
Figura 41 - Pontuação de irritação (IS) obtida no ensaio HET-CAM após aplicação de amostras obtidas das partes aéreas (PA) e raízes (R) de <i>Physalis angulata</i> cultivadas sob diferentes condições de luz.	107
Figura 42 - Taxa de sobrevivência embrionária durante o ensaio <i>HET-CAM</i> , representando o tempo até o aparecimento de sinais de irritação (hemorragia, lise vascular ou coagulação) após aplicação das amostras sobre a membrana corioalantoide (CAM).	107
Figura 43 - Curvas de sobrevivência de <i>Galleria mellonella</i> após inoculação de extratos das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> , coletadas aos 90 dias de cultivo sob diferentes qualidades de luz (natural, azul, branca e vermelha), e respectivos controles, ao longo de sete dias de acompanhamento.	108
Figura 44 - Frequência de melanização em larvas de <i>Galleria mellonella</i> após inoculação de extratos das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> , coletadas aos 90 dias de cultivo sob diferentes qualidades de luz (natural, azul, branca e vermelha), ao longo de sete dias de acompanhamento.	109
Figura 45 - Determinação da região linear viscoelástica (LVR) da emulsão do extrato por varredura de deformação.	111
Figura 46 - Varredura de frequência das emulsões óleo/água contendo extrato das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> (90 dias), cultivadas sob diferentes qualidades de luz.	112
Figura 47 - Curvas de fluxo (tensão de cisalhamento × taxa de cisalhamento) de emulsões óleo/água (O/A) contendo extrato das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> (90 dias), cultivadas sob diferentes qualidades de luz, a 32 °C.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias e desvios padrão dos resultados das avaliações fisiológicas de <i>Physalis angulata</i> cultivada sob luz azul aos 30 e 90 dias.	58
Tabela 2 - Médias e desvios padrão dos resultados das avaliações fisiológicas de <i>Physalis angulata</i> cultivada sob luz branca aos 30 e 90 dias.	59
Tabela 3 - Médias e desvios padrão dos resultados das avaliações fisiológicas de <i>Physalis angulata</i> cultivada sob luz vermelha aos 30 e 90 dias.	61
Tabela 4 - Médias e desvios padrão dos resultados das avaliações fisiológicas de <i>Physalis angulata</i> cultivada sob luz RBW (Azul, branca e vermelha) aos 30 e 90 dias.	62
Tabela 5 - Médias das variáveis fisiológicas com diferenças estatísticas entre tipos de luz e datas de coleta, referentes às trocas gasosas e ao metabolismo primário (ANOVA tipo III e Tukey, $p < 0,05$).	64
Tabela 6 - Médias das variáveis fisiológicas com diferenças estatísticas entre tipos de luz e datas de coleta, referentes aos parâmetros derivados de eficiência com que as plantas utilizam CO ₂ e água (ANOVA tipo III e Tukey, $p < 0,05$).	66
Tabela 7 - Médias das variáveis fisiológicas com diferenças estatísticas entre tipos de luz e datas de coleta, referentes aos pigmentos fotossintéticos (ANOVA tipo III e Tukey, $p < 0,05$).	67
Tabela 8 - Médias das variáveis fisiológicas com diferenças estatísticas entre tipos de luz e datas de coleta, referentes aos parâmetros da fluorescência da clorofila e eficiência fotoquímica (ANOVA tipo III e Tukey, $p < 0,05$).	69
Tabela 9 - Médias das variáveis fisiológicas com diferenças estatísticas entre tipos de luz e datas de coleta, referentes aos parâmetros específicos da fluorescência da clorofila nos centros de reação do PSII (ANOVA tipo III e Tukey, $p < 0,05$).	70
Tabela 10 - Rendimento do extrato vegetal de partes de <i>P. angulata</i> em função da qualidade de luz e do momento da coleta.	77
Tabela 11 - Tempo de retenção, área e altura dos picos detectados nos cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico das partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivadas sob luz azul, branca, vermelha e RBW coletadas aos 30 dias.	83
Tabela 12 - Tempo de retenção, área e altura dos picos detectados nos cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico das	

partes aéreas de <i>P. angulata</i> cultivadas sob luz natural, azul, branca, vermelha e RBW coletadas aos 90 dias.....	84
Tabela 13 - Tempo de retenção, área e altura dos picos detectados nos cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para o extrato clorofórmico de raízes de <i>P. angulata</i> cultivadas sob luz azul, branca, vermelha e RBW coletadas aos 90 dias.....	85
Tabela 14 - Tempo de retenção, área e altura dos picos detectados nos cromatogramas representativos obtidos a 254 nm para rutina e quercetina.	86
Tabela 15 - Valores de CIM e CBM dos extratos de <i>P. angulata</i> contra bactérias, considerando diferentes partes da planta, tempos de coleta e condições de luz.	90
Tabela 16 - Valores de CIM e CFM dos extratos de <i>P. angulata</i> contra <i>Candida ssp.</i> , considerando diferentes partes da planta, tempos de coleta e condições de luz.	94
Tabela 17 - Valores de CIM e CFM dos extratos de <i>P. angulata</i> contra fungos filamentosos, considerando diferentes partes da planta, tempos de coleta e condições de luz.....	96
Tabela 18 - Valores de concentração efetiva (CE ₅₀ , em µg/mL) obtidos para os padrões de referência e para os extratos das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> cultivadas sob diferentes qualidades de luz e tempos de coleta.....	103
Tabela 19 - Média dos halos de inibição (mm) de diferentes concentrações de extratos e emulsões das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> coletadas aos 90 dias de cultivo sob diferentes qualidades de luz, frente às cepas bacterianas avaliadas.	115
Tabela 20 - Média dos halos de inibição (mm) de extratos e emulsões das partes aéreas de <i>Physalis angulata</i> (90 dias), avaliados em diferentes concentrações sob luz azul, frente às leveduras e aos dermatófitos.	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - taxa fotossintética
A/Ci - relação entre a taxa de assimilação de carbono e a concentração interna de dióxido de carbono
A/E - taxa de eficiência do uso da água
A/gs - relação entre a taxa de assimilação de carbono e a condutância estomática ao vapor d'água
ABS - absorção de Energia Luminosa
ABS/RC - fluxo específico de absorção de energia luminosa
ATCC - *American Type Culture Collection*
BHI - caldo Brain Heart Infusion
Ca - concentração de CO₂ no ar externo
Ca/Ci - razão entre a concentração de CO₂ no ar externo e no espaço intercelular
CBM - concentração bactericida mínima
CFM - concentração fungicida mínima
Chl_a - concentrações de clorofila a
Chl_a/Chl_b - razão entre concentração de clorofila a e clorofila b
Chl_b - concentrações de clorofila b
Ci - concentração interna de dióxido de carbono nas folhas ou tecidos vegetais
CIM - concentração inibitória mínima
DI₀/RC - taxa de Assimilação de CO₂ em relação ao número de centros de reação no fotossistema II
DMEM - (Dulbecco's Modified Eagle Medium) High Glucose
DMSO - dimetilsulfóxido
E - taxa de transpiração
ET₀ - taxa de emissão total de energia
ET₀/RC - taxa de emissão de energia dissipada por cada centro de reação do fotossistema II, Taxa de emissão de energia dissipada por cada centro de reação do fotossistema II
F_m - fluorescência máxima
F₀ - fluorescência basal
F_v - fluorescência variável
F_v/F_m - razão entre fluorescência variável e fluorescência máxima
F_v/F₀ - razão entre fluorescência variável e basal
gs - condutância estomática
INCQS - Instituto Nacional de Controle de Qualidade em saúde
IS - índice de irritação
LED - diodo emissor de luz
MTT - 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio brometo
PCA - análise de Componentes Principais
PDA - detector Detector de Arranjo de Diodos (DAD/PDA), Ágar batata-dextrose
P_{ext} - peso do extrato seco
Pi_{ABS} - eficiência da absorção de energia luminosa pelo fotossistema II
P_{partes} - peso das partes aéreas secas
PVC - policloreto de Polivinila
PVDF - fluoreto de polivinilideno
RBW - luz azul, branca e vermelha na proporção 1:1
RC - centro de Reação
Rn - taxa de respiração noturna

SisGen - Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado

TRO - taxa de Transporte de Elétrons Ótima

TRO/RC - taxa máxima de captura do fotossistema II

LISTA DE SÍMBOLOS

Ψ_o - eficiência quântica do fotossistema II

ΦE_o - eficiência quântica da emissão de fluorescência

ϕD_o - rendimento quântico da dissipação de energia em forma de calor

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Rendimento do extrato	42
Equação 2: Cálculo da porcentagem de inibição do radical DPPH	47
Equação 3: Cálculo do CE ₅₀	47
Equação 4 - Viabilidade celular (%) calculada com base na razão entre os valores de absorbância das células tratadas com os extratos e aqueles obtidos para o grupo controle negativo (células não tratadas).....	48
Equação 5: Cálculo para obtenção da pontuação de irritação	49
Equação 6 - Cálculo da porcentagem de sobrevivência de <i>Galleria mellonella</i>	50
Equação 7 - Cálculo da porcentagem de mortalidade de <i>Galleria mellonella</i>	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 BIOTECNOLOGIA VEGETAL	21
2.1.1 Conceito e aplicações da biotecnologia vegetal	21
2.1.2 Cultivo <i>indoor</i> e fábricas de plantas	21
2.1.2.1 Tecnologias aplicadas ao cultivo vegetal	22
2.1.2.2 O uso da luz como ferramenta tecnológica	23
2.1.3 Parâmetros fisiológicos como ferramentas de avaliação biotecnológica.....	24
2.2 GÊNERO <i>PHYSALIS</i>	26
2.2.1 <i>Physalis angulata</i>	27
2.2.1.1 Morfologia, Distribuição Geográfica e Estratégias Adaptativas	27
2.2.1.2 Formas de cultivo.....	29
2.2.1.3 Atividade biológica e metabólitos especializados	30
2.2.1.3.1 Métodos de extração e análise fitoquímica	32
2.2.1.3.2 Atividade antimicrobiana	34
2.2.1.3.3 Atividade antioxidante	35
2.2.1.3.4 Citotoxicidade e modelos alternativos de toxicidade e biocompatibilidade.....	35
2.3 SISTEMA EMULSIONADO	36
3. OBJETIVOS.....	38
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1 MATERIAL VEGETAL	39
4.2 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS	40
4.2.1 Análise estatística	41
4.3 EXTRATOS	42
4.3.1 Análise cromatográfica dos extratos.....	42
4.3.2 Avaliação da atividade antimicrobiana dos extratos	43
4.3.2.1 Microrganismos.....	44
4.3.2.2 Determinação da concentração inibitória mínima dos extratos.....	44
4.3.2.3 Determinação da concentração microbicida mínima dos extratos.....	46
4.3.3 Avaliação da atividade antioxidante dos extratos	46

4.3.4 Avaliação da citotoxicidade <i>in vitro</i> dos extratos	47
4.3.5 Avaliação da biocompatibilidade dos extratos pelo ensaio alternativo HET-CAM	48
4.3.6 Ensaio <i>in vivo</i> alternativo de toxicidade dos extratos em <i>G. mellonella</i>	50
4.4 FORMULAÇÃO FARMACOTÉCNICA.....	52
4.4.1 Obtenção das emulsões.....	52
4.4.2 Caracterização reológica.....	53
4.4.3 Avaliação da atividade antimicrobiana das emulsões pelo ensaio de difusão em ágar pelo método de poço (<i>hole-plate</i>).....	53
4.4.3.1 Ensaios antibacterianos	53
4.4.3.2 Ensaios frente a leveduras	55
4.4.3.3 Ensaios frente a fungos filamentosos	55
5. RESULTADOS	57
5.1. PERFIL FISIOLÓGICO DAS PLANTAS CULTIVADAS EM SISTEMA <i>INDOOR</i>	57
5.1.1 Análise descritiva das respostas fisiológicas por tipo de luz	57
5.1.1.1 Luz Azul.....	57
5.1.1.2 Luz Branca	59
5.1.1.3 Luz Vermelha	60
5.1.1.4 Luz Azul, Branca e Vermelha (RBW).....	61
5.1.2 Análise estatística e multivariada das respostas fisiológicas às diferentes luzes	63
5.1.2.1 Análise de variância	63
5.1.2.2 Análise de componentes principais	73
5.2 EXTRATOS	77
5.2.1 Perfil cromatográfico dos extratos	78
5.2.2 Atividade e perfil antimicrobiano dos extratos	89
5.2.2.1 Atividade antibacteriana	89
5.2.2.2 Atividade antifúngica	93
5.2.3 Atividade antioxidante dos extratos	97
5.2.3.1 Luz azul	99
5.2.3.2 Luz Branca	100
5.2.3.4 Luz Azul, Branca e Vermelha (RBW).....	102
5.2.4 Citotoxicidade <i>in vitro</i> dos extratos	104
5.2.5 Biocompatibilidade dos extratos pelo ensaio alternativo HET-CAM	104

5.2.6 Ensaio <i>in vivo</i> alternativo de toxicidade dos extratos em <i>Galleria mellonella</i> .	107
5.3 EMULSÕES	110
5.3.1 Caracterização reológica	110
5.3.1.1 Determinação da região linear viscoelástica (LVR).....	110
5.3.1.2 Varredura de Frequência (Frequency sweep).....	112
5.3.1.3 Curvas de fluxo.....	113
5.3.2 Atividade antimicrobiana das emulsões	114
6. DISCUSSÃO	118
6.1 PERFIL FISIOLÓGICO DAS PLANTAS CULTIVADAS EM SISTEMA <i>INDOOR</i>	118
6.2 EXTRATOS	120
6.3 PERFIL CROMATOGRÁFICO DOS EXTRATOS	122
6.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS	124
6.5 AVALIAÇÃO DA BIOCOMPATIBILIDADE (HET-CAM).....	126
6.6 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE EM MODELO <i>IN VIVO</i> ALTERNATIVO (<i>GALLERIA MELLONELLA</i>).....	127
6.7 EMULSÕES	127
6.8 PERFIL ANTIMICROBIANO DOS EXTRATOS E EMULSÕES	129
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE	133
REFERÊNCIAS.....	135
ANEXO A - Tabela com os dados brutos dos parâmetros fisiológicos.....	156

1. INTRODUÇÃO

A crescente resistência de microrganismos patogênicos aos antimicrobianos convencionais tem motivado a busca por alternativas terapêuticas mais eficazes e seguras. Nesse cenário, os extratos vegetais surgem como fontes promissoras de compostos bioativos, com destaque para os metabólitos especializados — como flavonoides, terpenos, alcaloides e fenóis — que apresentam mecanismos antimicrobianos variados, incluindo a desorganização de membranas celulares, a inibição enzimática e o bloqueio da síntese de biomoléculas essenciais (Santiago, 2016; Pérez-Flores *et al.*, 2025).

Como estratégia para superar essas limitações e intensificar a produção de metabólitos de interesse, sistemas de cultivo controlado, especialmente o cultivo *indoor*, têm ganhado destaque. Esses ambientes permitem o ajuste preciso de fatores como temperatura, umidade, fotoperíodo e, sobretudo, qualidade espectral da luz. A luz artificial, quando utilizada de forma estratégica por meio de diodos emissores de luz (LEDs), atua não apenas como fonte de energia para a fotossíntese, mas também como sinal regulador de processos fisiológicos e bioquímicos. Estudos demonstram que diferentes espectros luminosos modulam diretamente o crescimento, a morfologia e o metabolismo secundário das plantas (Barbosa *et al.*, 2015; Vatistas; Avgoustaki; Bartzanas, 2022).

Entre as espécies que podem se beneficiar dessas estratégias, destaca-se *Physalis angulata* L., pertencente à família Solanaceae, amplamente utilizada na medicina tradicional devido às suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas. Diversos estudos já relataram a presença de fitoesteróis, alcaloides esteroidais e flavonoides em seus extratos, associados a atividades farmacológicas promissoras. No entanto, a influência da qualidade espectral da luz sobre o metabolismo fisiológico e fitoquímico de *P. angulata* ainda é pouco explorada, assim como sua aplicação em sistemas de dispersão, como emulsões, voltados à potencialização de sua atividade biológica (Alamino, 2011; Silva; Mendonça, 2024).

Adicionalmente, a aplicação experimental de extratos vegetais depende do desenvolvimento de estratégias farmacotécnicas que viabilizem sua incorporação em veículos compatíveis com o uso pretendido. Constituintes lipofílicos, como esteroides e terpenoides, comumente presentes nesses extratos, apresentam baixa solubilidade em meios aquosos, o que pode comprometer a homogeneidade do sistema e limitar a disponibilidade dos compostos bioativos. Nesse sentido, sistemas emulsionados

constituem uma abordagem viável para promover a dispersão de substâncias hidrofóbicas em fases contínuas aquosas, favorecendo a estabilidade físico-química e a aplicabilidade experimental de extratos vegetais (McClements, 2007; Liu *et al.*, 2025).

Diante disso, este trabalho propõe uma abordagem integrada para investigar os efeitos da qualidade espectral da luz no cultivo de *P. angulata*, com foco na modulação de parâmetros fisiológicos e na produção de metabólitos bioativos. Embora esses compostos apresentem relevante potencial terapêutico, sua aplicação prática ainda enfrenta limitações relacionadas à baixa estabilidade, solubilidade e biodisponibilidade, o que pode comprometer sua eficácia *in vivo*. Nesse sentido, também foram avaliadas a atividade antimicrobiana, antioxidante e toxicológica dos extratos obtidos, bem como a eficácia de formulações emulsionadas desenvolvidas a partir das amostras mais promissoras. Espera-se que este estudo contribua para a valorização de uma planta medicinal com potencial aplicação biotecnológica, bem como para o desenvolvimento de formulações mais eficazes e sustentáveis no controle de agentes infecciosos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE

Este trabalho demonstrou que a qualidade espectral da luz e o tempo de cultivo influenciam de forma integrada o desempenho fisiológico, o perfil químico e a atividade biológica de *P. angulata*. De modo geral, a luz azul esteve associada a melhor desempenho fotossintético, enquanto a luz vermelha indicou maior limitação funcional ao longo do desenvolvimento. A condição RBW apresentou um perfil mais estável, sugerindo que espectros combinados podem contribuir para respostas fisiológicas mais equilibradas em cultivo indoor.

Essas diferenças fisiológicas refletiram-se nos extratos. As partes aéreas apresentaram maior rendimento e diversidade química, sobretudo aos 90 dias, com surgimento de sinais cromatográficos tardios compatíveis com metabólitos mais lipofílicos. Embora a atividade antioxidante tenha sido inferior à dos padrões, observou-se melhor desempenho nas amostras sob luz natural e RBW, indicando que condições com espectro mais amplo tendem a favorecer esse potencial.

No perfil antimicrobiano, a atividade variou conforme a parte vegetal, a qualidade da luz e o tempo de cultivo. De modo geral, os extratos das partes aéreas cultivadas sob luz vermelha e branca aos 90 dias apresentaram melhor desempenho frente às bactérias Gram-positivas, especialmente *S. aureus* e *B. subtilis*. Entre as leveduras, destacou-se o extrato de plantas cultivadas sob luz azul aos 30 dias frente a *C. glabrata*, enquanto, para fungos filamentosos, observaram-se respostas mais expressivas em condições específicas, como o extrato radicular sob luz RBW aos 90 dias frente a *M. canis*.

A incorporação dos extratos em emulsões ampliou a expressão da atividade em ensaios de difusão em ágar, especialmente contra dermatófitos, indicando que o sistema emulsionado favoreceu a dispersão dos metabólitos lipofílicos e potencializou a resposta observada em meio sólido.

De forma complementar, os modelos alternativos indicaram ausência de efeito irritante no ensaio HET-CAM e ausência de toxicidade sistêmica em *G. mellonella* nas condições avaliadas, sugerindo perfil preliminar favorável de biocompatibilidade e segurança.

Como perspectivas, recomenda-se a confirmação estrutural dos principais compostos por técnicas complementares, como LC-MS/MS, especialmente aqueles associados aos sinais cromatográficos tardios, bem como o aprofundamento da avaliação das emulsões quanto à estabilidade e eficácia por métodos quantitativos. T

Também se propõe retomar os ensaios celulares com estratégias de solubilização que permitam avaliação *in vitro* reprodutível. Em conjunto, os achados evidenciam que o controle espectral da luz no cultivo indoor constitui uma ferramenta estratégica capaz de modular a fisiologia, o metabolismo secundário e as propriedades tecnológicas de *P. angulata*, ampliando seu potencial de aplicação biotecnológica.

REFERÊNCIAS

- AGRA, M. D. F.; SILVA, K. N.; BASÍLIO, I. J. L. D.; FREITAS, P. F. de; BARBOSA-FILHO, J. M. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, n. 3, p. 472-508, 2008.
- ALAMINO, D. A. **Características agronômicas de fisalis (*Physalis pubescens* L) produzida por diferentes métodos e substratos e aspectos anatômicos e fitoquímicos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.
- ALLEN, L. V.; POPOVICH, N. G.; ANSEL, H. C. **Ansel's pharmaceutical dosage forms and drug delivery systems**. 10. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
- ALMEIDA JUNIOR, L. D. de. **Atividade anti-inflamatória intestinal do extrato padronizado de *Physalis angulata* L. (camapú)**. 2013. 82 f. - Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- ALRIFAI, O. *et al.* Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 22, p. 6075-6090, 2019.
- ALVES, B. H. *et al.* Dermatofitos em cães e gatos e seu contexto na saúde pública: revisão de literatura. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 84, p. 1-18, 2025.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018.
- ANTUNES, W. S. **Avaliação da atividade imunomoduladora do extrato etanólico de *Physalis angulata* em cultura de linhagem PC12**. 2022. Dissertação (Mestrado em Imunologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

ARSENE, M. M. J. *et al.* *Galleria mellonella* (greater wax moth) as an eco-friendly in vivo approach for the assessment of the acute toxicity of medicinal plants: application to some plants from Cameroon. **Open Veterinary Journal**, v. 11, p. 651-661, 2021.

ATKIN, O. K.; TJOELKER, M. G. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. **Trends in Plant Science**, v. 8, p. 343-351, 2003.

AULTON, M. E.; TAYLOR, K. M. G. **Aulton's pharmaceuticals: the design and manufacture of medicines**. 5. ed. Edinburgh: Elsevier Ltd., 2018.

AZMIR, J. *et al.* Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 426-436, 2013.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BANTIS, F.; SMIRNAKOU, S., OUZOUNIS, T.; KOUKOUNARAS, A.; NTAGKAS, N; RADOGLUO K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae**. v. 235, p. 437-451, 2018.

BARBOSA, G. L. *et al.* Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 6879-6891, 2015.

BATES, D. *et al.* **lme4: Linear Mixed-Effects Models using Eigen and S4**. Versão 1.1-10. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

BATISTA, A. D. **Atividade antimicrobiana e estudo do mecanismo de ação da triptantrina em fungos e bactérias**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

BATISTA-DUHARTE, A. *et al.* The Hen's Egg Test on Chorioallantoic Membrane. **International Journal of Toxicology**, v. 35, p. 627-633, 2019.

BIAN, Z. H.; YANG, Q. C.; LIU, W. K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 869-877, 2015.

BISWAS, D.; CHAKRABORTY, A.; MUKHERJEE, S.; GHOSH, B. Hairy root cultures: a potent method for improved secondary metabolite production of solanaceous plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Biotechnologia no Brasil: uma análise setorial**. Brasília, DF: MCTI, 2022.

BUNGALA, L. T. C. *et al.* Effect of LED Lights on Secondary Metabolites and Antioxidant Activities in Red Pakchoi Baby Leaves. **ACS Omega**, v. 9, p. 23420-23430, 2024.

BUSCH, F. A.; AINSWORTH, E. A.; AMTMANN, A.; CAVANAGH, A. P.; DRIEVER, S. M.; FERGUSON, J. N.; KROMDIJK, J.; LAWSON, T. A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. **Plant, Cell & Environment**, v. 47, p. 3346-3364, 2024.

CABRERA-GARCIA, J.; MILHOLLIN, R.; ERNST, M. **Controlled Environment Agriculture. Columbia: University of Missouri Extension**, 2024.

CAVALCANTE, M. de A. **Estudo do potencial antimicrobiano e antioxidante de espécies vegetais amazônicas**. 2011. 96 f. - Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

CERQUEIRA, M. V. de A.; ALMEIDA, A. Q. de; NASCIMENTO, M. N. do; GALIANO, C. M. F. Estudo das linhas de pesquisa e caracterização agrônômica de *Physalis angulata* L. **Revista RG News**, v. 8, n. 2, 2022.

CISSÉ, M.; VAIDYANATHAN, S. Advances in extraction techniques for bioactive compounds: A review. ***Food Engineering Reviews***, v. 12, p. 1-19, 2020.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Filamentous Fungi; Approved Standard Second Edition**. Wayne, PA, USA: CLSI, 2008.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Method for Antifungal Disk Diffusion Susceptibility Testing of Yeasts, approved standard M44-A2**. Wayne, PA, USA: CLSI, 2009.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard M7-A11**. Wayne, PA, USA: CLSI, 2018.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests, approved standard M2**. Wayne, PA, USA: CLSI, 2024.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of filamentous fungi, approved standard M38**, 3rd edition. Wayne, PA, USA: CLSI, 2017a.

CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts, approved standard M27, 4th edition**. Wayne, PA, USA: CLSI, 2017b.

COBALEDA-VELASCO, M. *et al.* Phenolic profiles and antioxidant properties of *Physalis angulata* L. as quality indicators. **Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research**, v. 5, p. 114-128, 2017.

COLLINS, C. H. O que é a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Química Nova**, v. 6, p. 46-49, 1983.

COSTA, M. S. M. *et al.* Análise da qualidade da luz sobre o desenvolvimento das características vegetais do camapu (*Physalis angulata*) cultivado in vitro. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, p. 1-15, 2011.

CUYCKENS, F.; CLAEYS, M. Mass spectrometry in the structural analysis of flavonoids. **Journal of Mass Spectrometry**, v. 36, p. 1-15, 2004.

DA LUZ, C. D.; DIÓGENES, A. N. Scientific research trends for plant factory with artificial lighting: scoping review. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 58, p. 224-232, 2023.

DAMU, A. G. *et al.* Isolation, structures, and structure-cytotoxic activity relationships of withanolides and physalins from *Physalis angulata*. **Journal of Natural Products**, v. 70, p. 1146-1152, 2007.

DAWIDOWICZ, A. L.; BERNACIK, K.; TYPEK, R. Rutin transformation during its analysis involving extraction process for sample preparation. **Food Analytical Methods**, v. 9, p. 232-243, 2016.

DESBOIS, A. P.; COOTE, P. J. Utility of greater wax moth larva (*Galleria mellonella*) for evaluating the toxicity and efficacy of new antimicrobial agents. In: LASKIN, A. I.; SARIASLANI, S.; GADD, G. M. (ed.). **Advances in Applied Microbiology**, p. 25-53, 2012.

DIAS, F. G. B. **Determinação de propriedades biológicas e prospecção fitoquímica dos extratos das folhas de *Physalis angulata* L., silvestre e cultivada.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

EKASARI, D. P. *et al.* Effect of *Physalis angulata* leaf extract cream on Interleukin-4, Interleukin-6, and Immunoglobulin-E in mice with induced atopic dermatitis. **Universa Medicina**, v. 42, p. 150-159, 2023.

FALCÃO, D. Q. *et al.* Antioxidant and anti-microbial activity from *Calceolaria chelidonioides* Humb. Bonpl. & Kunth. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 72-76, 2006.

FALCÃO, M. J. Q.; GOMES, E. P. **Biotecnologia vegetal**: fundamentos e aplicações. Lavras: Editora UFLA, 2021.

FARQUHAR, G. D.; CAEMMERER, S. V.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. **Planta**, v. 149, p. 78-90, 1980.

FAWOLE, F. J.; SAHU, N. P.; PAL, A. K.; LAKRA, W. S. Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of selected Indian medicinal plants. **International Journal of Medicinal and Aromatic Plants**, v. 3, p. 69-77, 2013.

FERREIRA, M. C. A. ***Physalis angulata* L.** [S. l.], 2025. Disponível em: <https://fitoterapiabrasil.com.br/planta-medicinal/Physalis-angulata>. Acesso em: 23 mar. 2025.

FERREIRA, J. R.; KROLOW, A. C. **Biotecnologia**: uma abordagem interdisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2018.

FISCHER, G. *et al.* **Avances en cultivo, poscosecha y exportacion de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia**. 1. ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, 2005. v. 1

FISCHER, G.; MELGAREJO, L. M. *Physalis peruviana* L.: fruta andina para el mundo. In: **PHYSALIS PERUVIANA L.: FRUTA ANDINA PARA EL MUNDO**. 1. ed. Campus de Espinardo: LIMENCOP S.L., 2016. v. 1, p. 29-47.

FOX, J.; WEISBERG, S. **Car**: companion to applied regression. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2019a.

FOX, J.; WEISBERG, S. **CarData**. Thousand Oaks: Sage, 2019b.

FRESHNEY, R. I. **Culture of Animal Cells**: a manual of basic technique and specialized applications. 7. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2016.

GLOBAL CORE BIODATA RESOURCE. *Physalis angulata* L. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/5341792>. Acesso em: 23 mar. 2025.

GO BOTANY. *Physalis ixocarpa (Mexican ground-cherry)*. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/Physalis/philadelphica/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GRAPH PAD SOFTWARE. GraphPad Prism. Versão 8. San Diego: GraphPad Software Inc., 2019.

GRUFFAT, X. Fisális - physalis alkekengi | Criasau de. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.criasau de.com.br/fitoterapia/fisalis.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 17 mar. 2025.

HARTMANN, T. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. **Phytochemistry**, v. 68, p. 22-24, 2007.

HOGWONING, S. W. *et al.* Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3107-3117, 2010.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. **Multcomp**: simultaneous inference in general parametric models. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

HUSSON, F. *et al.* **FactoMineR**. Viena: The Comprehensive R Archive Network (CRAN), 2008.

IKPEFAN, E. *et al.* *Physalis angulata* L. (Solanaceae): Antimicrobial and antioxidant studies of the aqueous methanol leaves extract. **Nigerian Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 37, p. 4855-4866, 2023.

IWANSYAH, A. C.; JULIANTI, W. P.; LUTHFIYANTI, R. Characterization of nutrition, antioxidant properties, and toxicity of *Physalis angulata* L. plant extract. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 12, p. 95-99, 2019.

JANUÁRIO, A. H. *et al.* Antimycobacterial physalins from *Physalis angulata* L. (Solanaceae). **Phytotherapy Research**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 445-448, 2002.

JIN, Z.; MASHUTA, M. S.; STOLOWICH, N.; VAISBERG, A. J.; STIVERS, N. S.; BATES, P. J.; LEWIS, W. H.; HAMMOND, G. B. Physangulidines A, B, and C: Three new antiproliferative withanolides from *Physalis angulata* L. **Organic Letters**, v. 12, p. 1230-1233, 2012.

JOHKAN, M. *et al.* Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 75, p. 128-133, 2012.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 374, p. 1-16, 2016.

JORGENSEN, J. H.; FERRARO, M. J. Antimicrobial Susceptibility Testing: A Review of General Principles and Contemporary Practices. **Clinical Infectious Diseases**, v. 49, p. 1749-1755, 2009.

JOSSE, J.; HUSSON, F. **MissMDA**. Viena: The Comprehensive R Archive Network (CRAN), 2016.

KANG, H. A. *et al.* Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 57, p. 573-579, 2016.

KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (ed.). ***Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production***. 2. ed. London: Academic Press, 2015.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra**. Viena: The Comprehensive R Archive Network (CRAN), 2020.

KERWIN, R. E. *et al.* Tomato root specialized metabolites evolved through gene duplication and regulatory divergence within a biosynthetic gene cluster. **Science Advances**, v. 10, p. 1-19, 2024.

KHAN, B. A. *et al.* Basics of pharmaceutical emulsions: A review. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 5, p. 2715-2725, 2011.

KUSUMA, P.; PATTISON, M. P.; BUGBEE, B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. **Horticulture Research**, v. 7, p. 1-9, 2020.

KUSUMANINGTYAS, R.; LAILY, N.; LIMANDHA, P. Potential of Ciplukan (*Physalis angulata* L.) as Source of Functional Ingredient. **Procedia Chemistry**, v. 14, p. 367-372, 2015.

LENTH, R. V. **Emmeans**. Iowa City: The Comprehensive R Archive Network (CRAN), 2025.

LI, Q.; KUBOTA, C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 59-64, 2009.

LICHTENTHALER, H.; BABANI, F. Contents of photosynthetic pigments and ratios of chlorophyll a/b and chlorophylls to carotenoids (a+b)/(x+c) in C4 plants as compared to C3 plants. **Photosynthetica**, v. 60, p. 1-7, 2022.

LIM, P. O.; KIM, H. J.; NAM, H. G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 115-136, 2007.

LIMA, P. G. **Peptídeos antimicrobianos sintéticos: atividade antifúngica e mecanismos de ação**. 2021. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

LIU, Z. J. *et al.* Phenolic profiles and antioxidant activity in different organs of *Sinopodophyllum hexandrum*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1-11, 2022.

LIU, M. *et al.* Pickering emulsions stabilized by starch-based complex particles for the encapsulation and delivery of bioactive compounds: A review. **Food Research International**, v. 190, p. 113-125, 2025.

LIU, Y. *et al.* The blue light signal transduction module FaCRY1-FaCOP1-FaHY5 regulates anthocyanin accumulation in cultivated strawberry. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-15, 2023.

LOH, J. M. *et al.* *Galleria mellonella* larvae as an infection model for group A streptococcus. **Virulence**, v. 4, p. 419-428, 2013.

LOPES, D. C. D. X. P. *et al.* Atividades antimicrobiana e fototóxica de extratos de frutos e raízes de *Physalis angulata* L. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 206-210, 2006.

MAGALHÃES, H. I. F. **Atividade antitumoral (in vitro e in vivo) das fisalinas B e D isoladas da *Physalis angulata* Lin.** 2005. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MAHKLOUF, M. H. The first record of *Physalis angulata* L. (Solanaceae) for the flora of Libya. **Biodiversity Research and Conservation**, v. 53, n. 1, p. 67-71, 2019.

MARENA, G. D. *et al.* *Galleria mellonella* for systemic assessment of anti-Candida auris using amphotericin B loaded in nanoemulsion. **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 1-9, 2022.

MARIQUITO, A. **Potencial alelopático de extratos de sementes de *Physalis peruviana* L. (Solanaceae)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

MCCLEMENTS, D. J. Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, p. 611-649, 2007.

MCCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

MEDINA MEDRANO, J. R.; AVIÑA-MARTÍNEZ, G. N.; GARCÍA-PEREYRA, J. Revisão dos flavonoides identificados no gênero *Physalis* (Solanaceae), sua capacidade antioxidante e importância como marcadores químicos. **Naturaleza Y Desarrollo**, v. 12, n. 1, p. 16-27, 2014.

MENG, Q. *et al.* Cytotoxic withanolides from the whole herb of *Physalis angulata* L. **Molecules**, v. 24, p. 1-9, 2019.

MENSOR, L. L. *et al.* Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy Research**, v. 15, p. 127-130, 2001.

MISICO, R. I. *et al.* Withanolides and Related Steroids. *In*: KINGHORN ET AL., A. D. (org.). **Progress in the Chemistry of Organic Natural Products**. 94. ed. Viena: Springer-Verlag, 2011. p. 127-229.

MORAIS, C. G. V. *et al.* The Dialogue of the Host-Parasite Relationship: *Leishmania* spp. and *Trypanosoma cruzi* Infection. **BioMed Research International**, v. 1, p. 1-9, 2018.

MOSMANN, T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. **Journal of Immunological Methods**, v. 65, n. 2, p. 55-63, 1983.

MULERO, G. *et al.* Spectral Estimation of In Vivo Wheat Chlorophyll a/b Ratio under Contrasting Water Availabilities. **Remote Sensing**, v. 14, p. 1-14, 2022.

MUNEKATA, P. E. S.; DOMÍNGUEZ, R.; LORENZO, J. M. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products: a review. **Food Research International**, v. 89, p. 565-578, 2016.

MUNIZ, J.; MOLINA, A. R.; MUNIZ, J. *Physalis*: Panorama produtivo e econômico no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 1-2, 2015.

NAGAFUJI, S. *et al.* Trypanocidal Constituents in Plants 4. Withanolides from the Aerial Parts of *Physalis angulata*. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 27, p. 193-197, 2004.

NIU, G.; MASABNI, J. G. Plant Production in Controlled Environments. **Horticulturae**, v. 4, p. 1-4, 2018.

NOVITASARI, A.; ROHMAWATY, E.; ROSDIANTO, A. M. *Physalis angulata* Linn. como planta medicinal (revisão). **Biomedical Reports**, v. 20, p. 1-16, 2024.

O'BRIEN, J. *et al.* Investigation of the Alamar Blue (resazurin) fluorescent dye for the assessment of mammalian cell cytotoxicity. **European Journal of Biochemistry**, v. 267, n. 17, p. 5421-5426, 2000.

OGLE, D. H.; WHEELER, P.; DINNO, A. **FSA: Fisheries Stock Analysis**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

OLIVARES-TENORIO, M. L. *et al.* Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, p. 83-92, 2016.

OLIVEIRA, J. A. R. de. **Multiplicação in vitro e estaquia de *Physalis angulata* L.** 2014. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, 2014.

OLIVEIRA, J. A. R. *et al.* Tipos de estacas e uso de AIB na propagação vegetativa de fisális. **Revista Brasileira de Agroambiente**, p. 342-346, 2015.

OLIVEIRA, A. M. de; NKHATA, L.; HOFFMANN, C. P. Phenolic acids from fruits of *Physalis angulata* L. in two stages of maturation. **South African Journal of Botany**, v. 131, p. 448-453, 2020.

OREOPOULOU, A.; TSIMOGIANNIS, D.; OREOPOULOU, V. Extraction of polyphenols from aromatic and medicinal plants: an overview of the methods and the effect of extraction parameters. *In*: WATSON, R. R. (org.). **Polyphenols in Plants**. Cambridge: Academic Press, 2019. p. 243-259.

OSHO, A.; ADELEKE, T.; FAYEMI, S. O.; MORONKOLA, D. O. Antimicrobial activity of essential oils of *Physalis angulata*. **African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines**, v. 7, p. 303-306, 2010.

PANDINI, J. A. **Composição química, atividade antimicrobiana, inseticida e antioxidante do óleo essencial e extratos de *Guarea kunthiana* A. Juss.** 2013. Dissertação (Mestrado em conservação e manejo de recursos naturais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

PASSOS, A. R.; SILVA, L. C. C. Recursos genéticos e melhoramento das espécies de *Physalis* spp. (Solanaceae) da Universidade Estadual de Feira de Santana. **Revista RG News**, v. 10, p. 13-20, 2024.

PÉREZ-FLORES, J. G. *et al.* Plant Antimicrobial Compounds and Their Mechanisms of Action on Spoilage and Pathogenic Bacteria: A Bibliometric Study and Literature Review. **Applied Sciences**, v. 15, p. 2-30, 2025.

PIATEK, M.; SHEEHAN, G.; KAVANAGH, K. *Galleria mellonella*: o hospedeiro versátil para descoberta de medicamentos, testes de toxicidade in vivo e caracterização de interações patógeno-hospedeiro. **Antibiotics**, v. 10, p. 1-12, 2021.

PIETRO, R. C. L. R. *et al.* In vitro antimycobacterial activities of *Physalis angulata* L. **Phytomedicine**, v. 7, p. 335-338, 2000.

PILLAI, J. R. *et al.* Chemical Composition Analysis, Cytotoxic, Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Physalis angulata* L.: A Comparative Study of Leaves and Fruit. **Molecules**, v. 27, p. 1-17, 2022.

PONTES, F. N. **Avaliação das atividades antimicrobiana e moduladora da resistência a antibióticos de extratos de *Physalis angulata* L.** 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RAJENDRAN, S. *et al.* Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with Emphasis on potato mini-tuber cultivation. **Heliyon**, v. 10, p. 1-14, 2024.

RENGIFO-SALGADO, E.; VARGAS-ARANA, G. *Physalis angulata* L. (Bolsa Mullaca): A Review of its Traditional Uses. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 12, p. 431-445, 2013.

RUFATO, A. R. *et al.* (org.). **Pequenas frutas**. Florianópolis: UDESC, 2013. p. 143-193.

SANTANA, R. O. *et al.* Aspectos botânicos, fitoquímicos e citotóxicos de espécies vegetais pertencentes às famílias Moraceae, Asteraceae, Theaceae, Malvaceae, Junglandaceae, Celastraceae e Illiciaceae: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-15, 2021.

SANTIAGO, W. R. **Potencial fisiológico de sementes de *Physalis angulata* L. em função de fatores ecofisiológicos, promotores químicos e maturidade fisiológica.** 2016. Tese (Doutorado em Fitotecnia/Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2016.

SANTOS, K. S. dos. **Estudo genético e aspectos reprodutivos em espécies do gênero *Physalis*.** 2018. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018.

SANTOS, C. S. *et al.* Métodos de extração para produção de fitoterápicos. *In*: FEIJÓ, F. M. C.; ALVES, N. D.; SANTOS, C. S. (org.). **Fitoterapia em animais de produção e de companhia.** Ponta Grossa: Atena, 2023. p. 16-25.

SCHAUBERGER, P.; WALKER, A. Openxlsx: read, write and edit xlsx files. [S. l.]: R Foundation for Statistical Computing, 2025.

SCORZONI, L. *et al.* *Galleria mellonella*: a new in vivo model to evaluate antifungal activity. **Virulence**, v. 12, p. 1639-1653, 2021.

SELEEM, E. A.; NASSAR, R. M. A. Morphological and Anatomical Studies on *Physalis peruviana* L. and *Physalis ixocarpa* Brot. Exhornem. **Journal of Plant Production**, v. 12, n. 11, p. 1179-1183, 2021.

SILVA, S. S. *et al.* Análise da ação antimicrobiana dos extratos vegetais de *Physalis angulata* L. através dos métodos de difusão em ágar. *In*: NEIDE KAZUE SAKUGAWA SHINOHARA (org.). **Saúde e sociedade: sinergias entre pesquisa, educação e ação comunitária.** Campina Grande: Amplla Editora, 2024. v. 1, p. 201-210.

SILVA, T. G. *et al.* Antioxidant Activity, Phenolic Content and Fatty Acid Profile for Seeds *Physalis angulata* L. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 101241-101251, 2020.

SILVA, B. J. M. *Physalis angulata* induces death of promastigotes and amastigotes of *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* via the generation of reactive oxygen species. **Micron**, v. 82, p. 25-36, 2016.

SILVA, F. G. Registros fotográficos dos cultivos de *Physalis angulata* sob diferentes qualidades de luz artificial. Rio Verde, 2023. 1 fotografia. Material não publicado.

SILVA, M. T. G. *et al.* Studies on antimicrobial activity, in vitro, of *Physalis angulata* L. (*Solanaceae*) fraction and physalin B bringing out the importance of assay determination. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 100, p. 779-782, 2005.

SILVA, J. O. *et al.* Utilização do ensaio het-cam como alternativa para avaliação toxicológica de produtos oftálmicos. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 17, p. 430-442, 2021.

SILVA, D. H. S.; BOLZANI, V. S. Extração e fracionamento de produtos naturais. *In*: SIMÕES, C. M. O. (org.). **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. p. 269-289.

SILVA, F. D. S. da; CASTRO, J. W. G.; COSTA, R. J. O. Toxicidade de espécies vegetais. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, p. 1-16, 2024.

SILVA, K. A. da; MENDONÇA, L. A. de. *Physalis angulata*: uma descrição sobre seus metabólitos secundários e efeitos farmacológicos. **COGNITIONIS Scientific Journal**, v. 7, p. 01-17, 2024.

SINGH, P. *et al.* Biotechnological interventions in *Withania somnifera*. **Biotechnology and Genetic Engineering Reviews**, v. 31, p. 1-20, 2015.

SKOOG, D. A. *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SNG, B. J. R. *et al.* Combination of red and blue light induces anthocyanin and other secondary metabolite biosynthesis pathways in an age-dependent manner in Batavia lettuce. **Plant Science**, v. 310, p. 1-15, 2021.

SOARES, M. B. P. *et al.* Physalins B, F and G, seco-steroids purified from *Physalis angulata* L., inhibit lymphocyte function and allogeneic transplant rejection. **International Immunopharmacology**, v. 6, p. 408-414, 2006.

SOUZA, H. C. *et al.* Effects of light quality on rutin production and growth of *Physalis angulata* (Linn.) seedlings cultured in vitro. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 251-257, 2019.

SOUZA, H. C. de. **Estudo Biotecnológico de plântulas de *Physalis angulata* Linn. cultivadas in vitro numa abordagem de investigação química e biológica.** 2018. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Biodiversidade) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

SOUZA, C. L. M. *et al.* Morfologia de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Physalis angulata* L. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 4, p. 1082-1085, 2010.

SOUZA, R. R.; GASPAROTI, P. S.; PAULA, J. A. M. de. Obtenção de extratos de plantas medicinais: uma revisão de escopo dos métodos extrativos modernos em comparação ao método clássico por soxhlet. **Revista Movimenta**, v. 15, p. 1-14, 2022.

SOUZA, J. C. de; RESCAROLLI, C. L. de S.; NUNEZ, C. V. Produção de metabólitos secundários por meio da cultura de tecidos vegetais. **Revista Fitos**, v. 12, p. 18-23, 2018.

SPEISKY, H.; ARIASS-SANTE, M. F.; FUENTES, J. Oxidation of quercetin and kaempferol markedly amplifies their antioxidant, cytoprotective, and anti-inflammatory properties. **Antioxidants**, v. 12, p. 1-17, 2023.

STUDER, A. J. *et al.* Limited Role for Carbonic Anhydrase in C₄ Photosynthesis as Revealed by a *ca1ca2* Double Mutant in Maize. **Plant Physiology**, v. 165, p. 608-617, 2014.

SUNDAY, R. M.; ILESANMI, O. R. Toxicity studies of *Physalis angulata* leaves extract on biochemical and haematological parameters in albino rats. **Journal of Pharmacology and Toxicology**, v. 18, p. 83-88, 2023.

SUSANTI, R. F. *et al.* Total Phenol, Flavanoid and Antioxidant Activity of *Physalis angulata* Leaves Extract by Subcritical Water Extraction. **Modern Applied Science**, v. 9, p. 190-197, 2015.

TAGHAVI, E. *et al.* Onion essential oil-in-water emulsion as a food flavoring agent: antibacterial activity and physical properties under environmental stress. **International Journal of Food Science**, p. 1-11, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Rio Grande do Sul: Artmed, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003.

TAULAVUORI, K. *et al.* Species-specific differences in synthesis of flavonoids and phenolic acids under increasing periods of enhanced blue light. **Environmental and Experimental Botany**, v. 121, p. 145-150, 2016.

THAKUR, R. *et al.* A review on pharmaceutical emulsion. **Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development**, v. 11, p. 143-147, 2023.

THERNEAU, T. M.; GRAMBSCH, P. M. **Modeling survival data: extending the Cox Model**. [S. l.]: Springer, 2000.

THILAKARATHNE, N. N. *et al.* Internet of things enabled smart agriculture: Current status, latest advancements, challenges and countermeasures. **Heliyon**, v. 11, p. 1-39, 2025.

TOMASSINI, T. C. B. *et al.* Gênero *Physalis* - uma revisão sobre vitaesteróides. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 47-57, 2000.

TORABZADEH, P.; PANAHI, P. Evaluation of Antifungal Activity of *Physalis alkekengi* L. Extracts on *Microsporum canis*, *Candida albicans*, *Trichophyton mentagrophytes* and *Nocardia asteroides*. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 11, p. 863-866, 2013.

TRIVELLINI, A. *et al.* The Role of Blue and Red Light in the Orchestration of Secondary Metabolites, Nutrient Transport and Plant Quality. **Plants**, v. 12, p. 1-17, 2023.

TSANG, C. C. *et al.* Use of the *Galleria mellonella* infection model to study the virulence of *Klebsiella pneumoniae*. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-12, 2019.

USHIE, O. A. *et al.* Phytochemical Screening and Antimicrobial Activities of Chloroform and Ethyl Acetate Extracts of *Physalis angulata*. **Journal of Chemical Society of Nigeria**, v. 44, p. 1062-1069, 2019.

VATISTAS, C.; AVGOUSTAKI, D. D.; BARTZANAS, T. A Systematic Literature Review on Controlled-Environment Agriculture: How Vertical Farms and Greenhouses Can Influence the Sustainability and Footprint of Urban Microclimate with Local Food Production. **Atmosphere**, v. 13, p. 1-27, 2022.

VENDRAMIN, V. *et al.* Prevention of quercetin precipitation in red wines: a promising enzymatic solution. **International Viticulture and Enology Society**, v. 56, p. 41-51, 2022.

VIOGENTA, P.; MEGASARI, L.; SUSANTI, L. Bioautography and FTIR Analysis of Ethanol Fraction Morel Berry Root (*Physalis angulata* L.) Against *Staphylococcus epidermidis* and *Pseudomonas aeruginosa*. **Traditional Medicine Journal**, v. 27, p. 240-246, 2022.

WANG, Y.; FOLTA, K. M. 7. Contributions of green light to plant growth and development. **American Journal of Botany**, v. 100, p. 70-78, 2013.

WATCHARATANON, K.; INGKANINAN, K. Improved triterpenoid saponin glycosides accumulation in in vitro culture of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst with precursor feeding and LED light exposure. **Industrial Crops and Products**, v. 134, p. 303-308, 2019.

WICKHAM, H. **Ggplot2**. New York: Springer, 2016.

WIEGAND, I.; HILPERT, K.; HANCOCK, R. E. W. Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. **Nature Protocols**, v. 3, p. 163-175, 2008.

WILSON, T. D.; STECK, W. F. A modified HET-CAM assay approach to the assessment of anti-irritant properties of plant extracts. **Food and Chemical Toxicology**, v. 38, n. 10, p. 867-872, 2000.

WU, W. *et al.* Light regulates the synthesis and accumulation of plant secondary metabolites. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1-18, 2025.

XIAO, J.; LI, Y.; HUANG, Q. Recent advances on food-grade particles stabilized Pickering emulsions: fabrication, characterization and research trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 55, p. 48-60, 2016.

XIAO, T. *et al.* Advances in emulsion stability: a review on mechanisms, role of emulsifiers, and applications in food. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 29, p. 1-18, 2025.

YUAN, X. *et al.* Advanced technologies in plant factories: exploring current and future economic and environmental benefits in urban horticulture. **Horticulture Research**, v. 12, p. 1-12, 2025.

ZHANG, S. *et al.* The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 2-9, 2020.

ZHANG, Q.; LIN, L.; YE, W. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. **Chinese Medicine**, v. 13, p. 1-26, 2018.

ZIMMER, T. B. R. ***Physalis pubescens* L.: avaliação físico-química, bioativa, antioxidante, antimicrobiana e antitumoral de frutos oriundos da região Sul do Rio Grande do Sul**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.