



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS**



MARILUCI LOPES GONZAGA

**FENOLOGIA, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Lippia insignis*
Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS
DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA**

Feira de Santana - BA
2025

MARILUCI LOPES GONZAGA

**FENOLOGIA, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Lippia insignis*
Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS
DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira

Feira de Santana - BA
2025

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Gonzaga, Mariluci Lopes
G651f Fenologia, crescimento e produção de *Lippia insignis* Moldenke
(Verbenaceae) nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia
/ Mariluci Lopes Gonzaga. - 2025.
72f. : il.

Orientador: Lenaldo Muniz de Oliveira

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2025.

1. Plantas medicinais. 2. Recursos genéticos vegetais. 3. Cultivo.
4. *Lippia insignis*. 5. Plantas – Domesticação. I. Oliveira, Lenaldo Muniz
de, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de
Pós-Graduação em Genéticos Vegetais III. Título.

CDU: 582.949.1

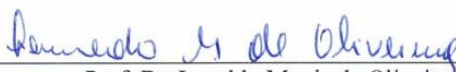
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Renata Velasques Menezes
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)



Prof. Dr. Antônio de Oliveira Costa Neto
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)



Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)
Orientador e Presidente da banca

À minha mãe Marizete Lopes (*in memoriam*), meu alicerce, que se mantém viva em meu coração, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela sua infinita bondade em todos os momentos da minha vida. Sem Ele, tudo seria impossível.

À minha mãe, Marizete Lopes (*in memoriam*), minha maior incentivadora, com sua força, seus conselhos e amor encontrei motivação para seguir o caminho dos estudos. Foi por você que permaneci firme, e é por nós duas que chego até aqui. À minha irmã, Franciele, obrigada pelo apoio, por sempre estar presente em todas as etapas da minha vida.

Ao meu companheiro, Gabriel, por todo apoio, cuidado e paciência, por acreditar em mim quando nem eu mesma acredito. Ao meu pinguinho de gente, Samuel, que com sua inocência e carinho trouxe leveza e distração nos momentos de estresse. À Thaíse e Juliana, pela amizade e incentivo, obrigada por vibrarem comigo a cada conquista.

Agradeço à minha amiga, Maria Clara, pelo apoio incondicional, especialmente ao longo deste projeto, obrigada por se fazer presente, ouvir meus desabafos e acreditar que seria possível. Ao meu orientador, Lenaldo Muniz de Oliveira, pela confiança, orientação e por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, por meio do Código de Financiamento 001.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que esse percurso pudesse ser concluído.

A vocês, carinhosamente,

muito obrigada.

RESUMO

O Brasil é considerado um dos países mais biodiversos do mundo e entre os biomas que o compõem, destaca-se a Caatinga, com inúmeras espécies vegetais, muitas delas nativas. O gênero *Lippia* conta com aproximadamente 200 espécies e possui amplo uso na medicina popular e elevado potencial para indústria farmacêutica. Entretanto, algumas dessas espécies encontram-se em estado de vulnerabilidade, como *Lippia insignis* Moldenke, um arbusto nativo dos campos rupestres da Chapada Diamantina, Bahia, com potencial medicinal e inseticida, o que torna essencial a realização de estudos, principalmente nas áreas de conservação e cultivo, contribuindo para a exploração sustentável da espécie. Deste modo, este trabalho avaliou o efeito da sazonalidade sobre a fenologia, crescimento e produção de *L. insignis* nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia. O estudo foi conduzido na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana. A espécie foi propagada a partir de plantas matrizes pertencentes à Coleção de Plantas Medicinais e Aromáticas do Horto Florestal e cultivadas em condições de campo. Foram feitas coletas de dados fenológicos, os parâmetros de crescimento: altura, diâmetro do caule e copa, massa seca de folhas, flores, caule e total, além da área foliar total e produção de óleo essencial. Os dados climáticos foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia e com base nas coordenadas geográficas do Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. A espécie apresentou alta sincronia para os eventos senescência, folha madura e brotamento. A frutificação e a floração apresentaram padrões sazonais. A senescência reduziu com o aumento da precipitação, enquanto fotoperíodos mais longos proporcionaram maior queda foliar. A altura e diâmetro do caule aumentaram em maiores comprimentos do dia, enquanto a área foliar total reduziu; o diâmetro da copa aumentou com maior radiação; a massa seca foliar aumentou com a maior umidade; a massa seca total e a produção de óleo aumentaram com maior precipitação. Assim, esses resultados demonstram a influência dos fatores climáticos sobre o crescimento de *L. insignis*, além disso, contribuem para o manejo adequado, otimizando o cultivo e a exploração sustentável da espécie.

Palavras-chave: Plantas medicinais; Recursos genéticos vegetais; Cultivo; Domesticação.

ABSTRACT

Brazil is considered one of the most biodiverse countries in the world, and among its biomes, the Caatinga stands out, harboring numerous plant species, many of them native. The genus *Lippia* comprises approximately 200 species and is widely used in traditional medicine, with significant potential for the pharmaceutical industry. However, some of these species are classified as vulnerable, such as *Lippia insignis* Moldenke, a shrub native to the rocky fields of the Chapada Diamantina, Bahia, with medicinal and insecticidal potential. This underscores the need for studies, particularly in the areas of conservation and cultivation, to support the sustainable use of this species. Thus, this study evaluated the effect of seasonality on the phenology, growth, and production of *L. insignis* under the climatic conditions of Feira de Santana, Bahia. The study was carried out at the Experimental Unit of the Forest Garden of the State University of Feira de Santana. The species was propagated from mother plants belonging to the Medicinal and Aromatic Plant Collection of the Forest Garden and cultivated under field conditions. Phenological data were collected, as well as growth parameters—plant height, stem and canopy diameter, dry mass of leaves, flowers, stems, and total dry mass, along with total leaf area and essential oil yield. Climatic data were obtained from the National Institute of Meteorology and based on the geographical coordinates provided by the Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. The species exhibited high synchrony in the phenological events of senescence, mature leaves, and sprouting. Fruiting and flowering followed seasonal patterns. Senescence decreased with increasing precipitation, whereas longer photoperiods resulted in greater leaf abscission. Plant height and stem diameter increased under longer day lengths, while total leaf area decreased; canopy diameter increased with higher radiation levels; leaf dry mass increased with higher humidity; and total dry mass and oil yield increased with greater precipitation. These findings demonstrate the influence of climatic factors on the growth of *Lippia insignis* and contribute to the development of proper management practices, optimizing cultivation and promoting the sustainable use of the species.

Keywords: Medicinal plants; Plant genetic resources; Cultivation; Domestication.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Aspectos da fenologia de *Lippia insignis* Moldenke. A: Brotamento; B: Folha madura; C: Senescência foliar; D: Floração; E: Frutificação; F: Queda foliar. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora) 35
- Figura 2. Dados quinzenais de Precipitação total (mm), Temperatura (°C), Umidade relativa (%), Radiação global (Kj/m²) e Fotoperíodo (min/dia) coletados no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia 36
- Figura 3. Análise circular para a sincronia dos eventos de *Lippia insignis* Moldenke. para as fenofases de brotamento, queda foliar, folha madura, senescência foliar, flor e frutificação, no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia 38
- Figura 4. Intensidade dos eventos pelo método de Fournier para as fenofases de brotamento, queda foliar, folha madura, senescência foliar, floração e frutificação, de *Lippia insignis* Moldenke no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia 39
- Figura 5. Coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis precipitação total (mm), temperatura (°C), umidade relativa (%), radiação global (Kj/m²) e fotoperíodo (h/dia) e as fenofases de brotamento, queda foliar, senescência foliar, floração e frutificação da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira De Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025. ns = correlação não significativa (p>0,05). 40
- Figura 6. Relação entre fotoperíodo (min/dia) e a queda foliar (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025. 41
- Figura 7. Relação entre a precipitação total (mm) e a senescência foliar (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025. 41

Figura 8. Relação entre a radiação (Kj/m²) e a floração (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.42

Figura 9. Relação entre a umidade relativa (%), fotoperíodo (min/dia), precipitação total (mm) e a frutificação (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.43

CAPÍTULO 2

Figura 1. (A) Planta matriz da Coleção de Plantas Medicinais; (B) Estacas cultivadas em copos plásticos; (C) Mudas de *Lippia insignis* Moldenke transplantadas no campo. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora)52

Figura 2. Parâmetros de crescimento e extração de óleo essencial de *Lippia insignis* Moldenke. (A) Plantas de *Lippia insignis* Moldenke cultivadas; (B) Medição da altura; (C) Medição do diâmetro do caule; (D) Contagem do número de perfilhos; (E) Medição do diâmetro da copa; (F) Caule; (G) Folhas e flores (H) Medição da área foliar; (I) Aparelho de Clevenger; (J) Óleo essencial de extraído de 100 g de folhas; (K) Pesagem do óleo armazenado e identificado. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora).....53

Figura 3. Dados mensais de precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), radiação global (Kj/m²) e fotoperíodo (min/dia) no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia56

Figura 4. Coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis precipitação total (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), radiação global (Kj/m²), fotoperíodo (min/dia) e os parâmetros área foliar total (AFT), altura (ALT) (m), diâmetro do caule (DCL) (mm), número de perfilhos (PERF), diâmetro da copa (DC) (m), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da flor (MSFL) (g), massa seca total (MST) (g), teor de óleo

essencial (TO) (%) e rendimento de óleo essencial por planta (ROP) (g planta⁻¹) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil. ns = correlação não significativa (p>0,05)59

Figura 5. Relação entre o fotoperíodo (h/dia), altura (m) e diâmetro do caule da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.....60

Figura 6. Relação entre radiação (Kj/m²) e diâmetro da copa (m) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 202561

Figura 7. Relação entre umidade relativa do ar (%) e massa seca das folhas (g) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.....61

Figura 8. Relação entre Fotoperíodo (min/dia) e área foliar total da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 202562

Figura 9. Relação entre precipitação (mm) massa seca total (g) e teor de óleo essencial (%) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.....63

Figura 10. Relação entre precipitação (mm), umidade relativa (%), temperatura (°C) e rendimento de óleo por planta (ROP) (g planta⁻¹) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 202564

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Análise estatística circular para sincronia dos eventos fenológicos de brotamento, folha madura, senescência foliar, floração, queda foliar e frutificação de *Lippia insignis* Moldenke no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.37

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Análise descritiva com valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV %) e teste de normalidade para as variáveis, temperatura (°C), umidade relativa (%), precipitação (mm), radiação (Kj/m²) e fotoperíodo (h/dia) referentes ao período de maio de 2024 a abril de 2025. Feira de Santana, Bahia.....55

Tabela 2. Análise descritiva das variáveis área foliar total (AFT) (cm²), altura (ALT) (m), diâmetro do caule (DCL)(mm), número de perfilho (PERF), diâmetro da copa (DC) (m), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da flor (MSFL) (g), massa seca total (MST) (g), teor de óleo essencial (TO) (%) e rendimento de óleo essencial por planta (ROP) (g planta⁻¹) de *Lippia insignis* Moldenke cultivada de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia57

Tabela 3. Teste de médias para diâmetro do caule (DCL) (mm) e teor de óleo essencial (TO) (%) e teste de Friedman com post-hoc em Nemenyi-Test para área foliar total (AFT) (cm²), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca da flor (MSFL) (g) e rendimento de óleo por planta (ROP) (g planta⁻¹) de *Lippia insignis* Moldenke cultivada de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia58

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Família Verbenaceae, gênero <i>Lippia</i> Linn. e a espécie <i>Lippia insignis</i> Moldenke	16
2.2 Fenologia e produção de óleo essencial.....	18
2.3 Domesticação e cultivo de espécies medicinais	21
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO 1 - FENOLOGIA DE <i>Lippia insignis</i> Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA	
1.1 INTRODUÇÃO	32
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	33
1.2.1 Local de cultivo	33
1.2.2 Propagação da espécie.....	34
1.2.3 Coleta de dados fenológicos	34
1.2.4 Análise estatística.....	35
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
1.4 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	44
CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE <i>Lippia insignis</i> Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA	
2.1 INTRODUÇÃO	50
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	51

2.2.1 Local de cultivo	51
2.2.2 Propagação da espécie	52
2.2.3 Avaliação de crescimento e produção de óleo essencial	52
2.2.4 Obtenção de dados climáticos.....	54
2.2.5 Análise estatística.....	54
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.4 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
APÊNDICE A - Resumo das análises de variância: ANOVA e Friedman-test	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do mundo, dispondo de uma flora rica em espécies nativas (IBGE, 2025). Os Recursos Genéticos Vegetais (RGVs) constituem uma parcela significativa desta biodiversidade, abrangendo variedades tradicionais, exóticas, melhoradas e espécies nativas (Oliveira *et al.*, 2024). Esses recursos refletem a ampla diversidade biológica e o potencial medicinal presente nos diferentes ecossistemas (Santana; Gomes, 2022). O bioma Caatinga detém uma extensa área no interior da região Semiárida e encontra-se distribuído predominantemente no nordeste brasileiro. Caracterizado pelo clima tropical semiárido e pela baixa disponibilidade hídrica (Reis *et al.*, 2023), apresenta uma diversidade de espécies vegetais, muitas das quais são endêmicas (IBGE, 2025). Em virtude dessa riqueza e das variedades de usos associados à sua vegetação, constitui uma importante fonte de recursos alimentícios, madeireiros, forrageiros e medicinais (Reis *et al.*, 2023).

Dentre as espécies vegetais com potencial terapêutico, sobressaem aquelas pertencentes à família Verbenaceae, reconhecida pelo seu expressivo potencial medicinal. Diversos representantes desse grupo são amplamente utilizados na medicina popular, devido às propriedades químicas presentes em suas estruturas. Esta família reúne 98 gêneros e 2.614 espécies dispersas pelo mundo. No Brasil, ocorrem 47 gêneros e aproximadamente 407 espécies de variados hábitos, incluindo arbustos, subarbustos e ervas perenes, distribuídos em áreas tropicais e subtropicais (Salimena *et al.*, 2020; De Oliveira *et al.*, 2024). Entre os gêneros de maior relevância dentro da família destaca-se *Lippia* Linn., que reúne cerca de 200 espécies, entre ervas, pequenos arbustos e árvores. No território brasileiro, aproximadamente 120 dessas espécies estão distribuídas principalmente nos biomas Cerrado e Caatinga (Salimena; Cardoso, 2020).

As espécies do gênero *Lippia* apresentam grande relevância para a fitoterapia em razão da diversidade de compostos bioativos presentes em seus óleos essenciais, os quais conferem ao gênero propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas, antifúngicas, analgésicas, antioxidantes, antiviral, antitumoral, anticancerígena e inseticida (Costa *et al.*, 2017; Raman *et al.*, 2018; Mar *et al.*, 2018; Trindade *et al.*, 2021). Embora apresente elevado potencial terapêutico, essas espécies ainda são coletadas predominantemente de forma extrativista, comprometendo a reposição natural e a conservação desses recursos (CNCFlora, 2025).

A espécie *Lippia insignis* Moldenke é um arbusto aromático, nativa do Brasil, endêmica

do estado da Bahia, com distribuição restrita aos campos rupestres da Chapada Diamantina (Salimena; Cardoso, 2020). Embora a espécie seja considerada promissora devido às suas propriedades medicinais, ainda é pouco estudada, principalmente na área de cultivo. Estudos iniciais apontam a presença de compostos voláteis com potencial antimicrobiano, antioxidante e inseticida (Santos *et al.*, 2020; Trindade *et al.*, 2021), o que sugere a utilidade tanto na medicina popular quanto para desenvolvimento de fitoterápicos. Dessa forma, torna-se necessário a realização de mais estudos com a espécie *L. insignis*, especialmente nas áreas de conservação, domesticação e cultivo, visando à preservação da diversidade genética e exploração sustentável da espécie.

Entre as abordagens fundamentais para esses objetivos, os estudos fenológicos são extremamente relevantes, pois permitem entender a interação da planta com as condições climáticas do ambiente (Neves *et al.*, 2017). Estudos fenológicos são indispensáveis para identificar os fatores ambientais que influenciam no crescimento vegetal e produção de óleo essencial (Ribeiro; Bonilla; Lucena, 2018), além de auxiliar na determinação das épocas ideais de colheita e condições favoráveis ao cultivo, visando maximizar a produção de biomassa e o rendimento de óleo. Nesse sentido, este trabalho buscou identificar o efeito da sazonalidade sobre a fenologia, o crescimento e a produção de óleo essencial de *Lippia insignis* Moldenke nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Família Verbenaceae, gênero *Lippia* Linn. e a espécie *Lippia insignis* Moldenke

A família Verbenaceae engloba 98 gêneros e 2.614 espécies distribuídas pelo mundo, sendo conhecida como um grupo com elevado potencial medicinal (Teles *et al.*, 2020). O Brasil detém a maior diversidade dessa família, com 47 gêneros e 407 espécies, amplamente distribuídas por quase todo o território nacional (Santos *et al.*, 2015; Salimena *et al.*, 2020), com maior ocorrência em regiões tropicais e subtropicais (De Oliveira *et al.*, 2024). Essas espécies são encontradas em diferentes formações vegetais, como o Campo Rupestre, o Cerrado e a Floresta Ombrófila, estando presentes em todos os domínios fitogeográficos do país (Salimena *et al.*, 2020). Suas aplicações são variadas, incluindo usos ornamentais, madeireiros e medicinais.

Dentro da família Verbenaceae, o gênero *Lippia* Linn. destaca-se pelas propriedades bioativas de suas espécies, muitas das quais são amplamente empregadas na medicina tradicional no tratamento de enfermidades como gastrite, diarreia, febre e asma, além de apresentarem efeito sedativo, em virtude de suas comprovadas atividades biológicas (Tavares *et al.*, 2020). Com aproximadamente 200 espécies descritas, o gênero ocorre principalmente na América do Sul, América Central e em regiões da África tropical (Salimena; Cardoso, 2020). Os principais centros de diversidade do gênero encontram-se em regiões do México e Brasil, principalmente na Cadeia do Espinhaço, que abrange os estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. No território brasileiro cerca de 120 espécies distribuem-se predominantemente nos biomas Cerrado e Caatinga, onde apresentam elevado grau de endemismo (Costa *et al.*, 2017; Salimena; Cardoso, 2020).

As espécies do gênero *Lippia* são reconhecidas pela produção de óleos essenciais ricos em compostos bioativos, oriundos do metabolismo secundário (Soares; Sousa; Passos, 2022), principalmente monoterpenos e sesquiterpenos, que conferem diversas atividades biológicas ao grupo (Oliveira *et al.*, 2018). Dentre essas propriedades destacam-se as ações estomáquica, antiespasmódica, anti-inflamatória, antipirética, antisséptica (Pascual *et al.*, 2001; Gomes *et al.*, 2011; Soares; Dias, 2013), efeito inseticida (Mar *et al.*, 2018; Trindade *et al.*, 2021) e anticancerígeno (Raman *et al.*, 2018). Além de seu potencial medicinal, algumas espécies do gênero destacam-se por suas características ornamentais, com flores exuberantes e aroma forte e característico dos seus óleos essenciais (Vilela *et al.*, 2020). No entanto, a maior parte dessas

espécies ainda se encontra em estado silvestre e, apesar do notável potencial terapêutico e econômico, seu uso permanece fortemente baseado na exploração extrativista, sem a adoção de práticas adequadas de manejo, o que tem levado à perda da variabilidade genética das espécies. Nesse contexto, o desenvolvimento de técnicas de cultivo torna-se fundamental não apenas para aprofundar o conhecimento sobre a flora nativa, mas também para subsidiar estratégias eficazes de conservação e exploração sustentável desses recursos (Feijó *et al.*, 2024).

Lippia insignis Moldenke é um arbusto silvestre, pouco ramificado, nativo do Brasil e endêmico da Bahia, com ocorrência em domínios fitogeográficos de caatinga (Salimena; Cardoso, 2020). Devido ao constante declínio na qualidade de seu habitat, causado pela crescente antropização da região, a espécie encontra-se classificada como vulnerável à extinção (CNCFlora, 2022). Entretanto, a espécie apresenta elevado potencial econômico, com diversas propriedades biológicas já identificadas. Trindade *et al.* (2021) avaliando o extrato metanólico de *L. insignis*, demonstraram a atividade antimicrobiana, revelando seu potencial para utilização na biotecnologia. Já Santos *et al.* (2020) identificaram o (E)-ocimenona, limoneno, β -mirceno, p-cimeno como os compostos majoritários no óleo essencial da espécie. Os mesmos autores demonstraram o potencial da espécie no desenvolvimento de bioinseticidas para o controle de populações de cupins (*Nasutitermes Corniger*). Mesmo a espécie apresentando potencial farmacológico, ainda há uma escassez de estudos, principalmente voltados à conservação e cultivo, pois estes podem contribuir tanto para a redução dos riscos de extinção da espécie quanto para a viabilização de seu uso sustentável pela sociedade.

Estudos pioneiros na área de caracterização e cultivo de *L. insignis* foram realizados por Oliveira (2014) e Sales (2020). Oliveira (2014) realizou a avaliação da produção, composição química e atividade bioativa dos óleos essenciais da espécie. Foi encontrado rendimento de óleo de 18,0 kg ha⁻¹ e observou que a composição química do óleo variou entre as épocas de colheita. Na primeira colheita, o composto majoritário foi o timol (63,3%), enquanto na segunda, os principais compostos foram mircenona (31,4%), timol (18,2%) e E-ocimenona (12,0%). Esse mesmo autor ainda realizou ensaios *in vitro* com a espécie, demonstrando potencial antioxidante para o óleo essencial, além de atividade antifúngica contra *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime & Phillips-Mora, com 100% de inibição do crescimento micelial a partir da concentração de 0,50 μ L mL⁻¹. Já Sales (2020), avaliando o crescimento e a produção de óleo essencial de *L. insignis* em três diferentes sistemas de cultivo, demonstrou que a espécie pode ser cultivada com

sucesso em consórcio com palma forrageira, monocultivo e sistema agroflorestal. A depender do tipo de cultivo, o teor de óleo essencial pode variar entre 1,40% e 2,25%. Estes estudos confirmam o elevado potencial econômico da espécie *L. insignis* Moldenke, contudo, ainda são necessários avanços em pesquisas agrônomicas que viabilizem o desenvolvimento de práticas adequadas de manejo.

2.2 Fenologia e produção de óleo essencial

A fenologia constitui o registro das diferentes fases de desenvolvimento das plantas ao longo do tempo e sua relação com as condições climáticas (Araújo, 2020). Esse monitoramento contínuo permite identificar os períodos de ocorrência e a duração de cada fenofase. Contudo, a fenologia não se limita à descrição dos eventos observáveis em resposta às variações do clima, ela também busca compreender os mecanismos fisiológicos que os regulam e as interconexões entre os diferentes estágios fenológicos (Silvestro *et al.*, 2025). Nesse sentido, a fenologia abrange o estudo dos eventos biológicos e sua relação com o ambiente onde ocorrem, observando sua distribuição temporal ao longo do ano (Hassan *et al.*, 2024). Esse conhecimento possibilita, por exemplo, determinar os períodos de maior disponibilidade foliar em determinadas espécies, o que é essencial para espécies medicinais, pois auxilia a definir a época ideal para coletar material vegetal. Além disso, permite identificar as variáveis climáticas que influenciam o ciclo de desenvolvimento das plantas (Araújo, 2020).

Os estudos fenológicos são fundamentais para compreender a dinâmica dos ecossistemas e desenvolvimento das espécies, oferecendo subsídios para o manejo adequado da cultura. As características fenológicas, nesse contexto, atuam como indicadores relevantes das respostas das plantas às condições climáticas locais (Neves *et al.*, 2017). Em se tratando de plantas aromáticas, cujos compostos voláteis são produzidos em diversas partes das plantas, como folhas, flores e sementes, a compreensão da interação dos fatores abióticos, morfogênese e a síntese desses compostos é de grande importância, tendo em vista a grande influência destes fatores sobre sua produção (Borges, 2024). Os compostos voláteis fazem parte do metabolismo secundário vegetal e são constituídos majoritariamente por terpenos (mono e sesquiterpenos) e fenilpropanoides, metabólitos responsáveis por suas propriedades organolépticas e farmacológicas (Rodrigues; Oliveira, 2021; Borges, 2024).

A composição química complexa desses compostos confere aos óleos essenciais uma

ampla gama de aplicações, principalmente nas indústrias farmacêutica, cosmética e de perfumaria (Bizzo; Hovell; Rezende, 2009). A relevância desses compostos é atribuída às inúmeras propriedades biológicas que apresentam, como atividade antimicrobiana, anti-inflamatória, antioxidante, entre outras, tornando-os promissores para o desenvolvimento de produtos naturais (Silva *et al.*, 2017). Diante disso, torna-se estratégico compreender os fatores climáticos que influenciam a produção e a disponibilidade desses compostos nas plantas.

Diversos estudos têm demonstrado que o comportamento fenológico das plantas é fortemente influenciado por fatores climáticos, como precipitação, umidade do ar, radiação solar e temperatura. Em pesquisa realizada com *Lippia sidoides* Cham., em área de Cerrado no norte de Minas Gerais, Carvalho Junior, Melo e Martins (2011) observaram que o comportamento fenológico da espécie foi diretamente influenciado pelas variáveis climáticas, principalmente pela disponibilidade hídrica e umidade relativa do ar. De forma semelhante, Ribeiro *et al.* (2022), ao avaliarem a época de floração e frutificação de *Lippia dulcis* Trevir, constataram que o maior número de ocorrências dessas fenofases coincidiu com os períodos de menor pluviosidade e maior intensidade de radiação solar, evidenciando que as características fenológicas das plantas são dependentes do ambiente onde se desenvolvem.

A influência climática sobre os eventos fenológicos também foi confirmada por Viana *et al.* (2020), que acompanharam por 24 meses o desenvolvimento de *Eugenia pyriformis* Cambess., em uma área de restauração florestal e identificaram uma correlação entre os eventos fenológicos e as variáveis climáticas de temperatura e pluviosidade. Os autores observaram aumento da produção foliar nos meses mais quentes, ausência de brotação durante os períodos de geada e intensificação da queda foliar nas estações frias. Esses resultados reforçam a influência da temperatura no metabolismo vegetal, conforme apontado por Bergamaschi (2007), segundo o qual o metabolismo das plantas se intensifica em ambientes mais quentes e diminui em temperaturas mais baixas.

Avaliando o período de ocorrência dos eventos de floração e frutificação da espécie *Evolvulus glomeratus* Nees & Mart. e sua interação com a pluviosidade, com o objetivo de determinar a época mais apropriada para coleta de folhas com fins medicinais, Oliveira *et al.* (2023) observaram que a precipitação influenciou diretamente o comportamento fenológico da espécie. A floração foi registrada ao longo do período analisado (janeiro de 2010 a dezembro de 2016), enquanto a frutificação foi registrada apenas no mês de maio, quando a média da

precipitação pluviométrica atingiu 300 mm, e o número médio de dias com ocorrência da fenofase foi de 2,5 dias. Esses resultados demonstram que, para fins medicinais, a coleta de folhas deve considerar o número de dias das fenofases. De acordo com Lameira e Amorim (2008), durante o período de floração e frutificação, as substâncias ativas tendem a ser direcionadas aos mecanismos reprodutivos da planta, o que pode reduzir sua concentração nas folhas. Dessa forma, a coleta é mais indicada nos períodos em que há menor duração das fenofases, favorecendo maior concentração de princípios ativos nas estruturas vegetativas.

Assim como qualquer outra cultura, o cultivo de plantas medicinais exige manejo adequado visando o aumento da biomassa e o acúmulo de componentes químicos de interesse. Para isso, é fundamental compreender as condições climáticas do local e sua influência sobre a espécie cultivada, uma vez que esses fatores interferem diretamente no crescimento e na produção de óleo essencial (Carvalho Junior; Melo; Martins, 2011).

Estudos demonstram que as variações sazonais podem interferir na produtividade e a qualidade dos óleos essenciais. Prochnow (2015), ao monitorar o desempenho vegetativo, produtivo e qualitativo de *Aloysia triphylla* (L'Hér.) Britton nas quatro estações do ano sob condições de déficit hídrico, observou que a disponibilidade hídrica não influenciou significativamente o crescimento e a produção de óleo essencial da espécie. O maior teor de óleo foi registrado no verão, com redução no inverno, especialmente no conteúdo de citral, composto majoritário da espécie. No entanto, durante o inverno, observou maiores concentrações de compostos minoritários, como óxido de cariofileno e espatulenol. De forma semelhante, Botrel *et al.* (2010), analisando a influência da sazonalidade sobre o teor e a composição do óleo de *Hyptis marruboides* Epling., observaram que no verão ocorreu maior rendimento do óleo essencial. Nas demais estações, os teores se mantiveram relativamente constantes, evidenciando que fatores ambientais podem afetar tanto a quantidade quanto a composição química dos óleos essenciais. Já Schindler, Silva e Heinzmann (2018), investigando o efeito da sazonalidade na produção de óleo essencial em folhas de *Piper gaudichaudianum* Kunth, não identificaram variações significativas nos rendimentos ao longo do ano. Os autores concluíram que não houve influência sazonal quantitativa, o que permite a coleta do material vegetal em qualquer época, sem prejuízo na produtividade do óleo essencial.

2.3 Domesticação e cultivo de espécies medicinais

Há milhares de anos, em diferentes regiões do mundo, as plantas medicinais têm sido utilizadas como importantes fontes de medicamentos para a prevenção e o tratamento de diversas doenças. Contudo, a crescente demanda por produtos derivados de plantas tem provocado a superexploração desses recursos, elevando o risco de extinção de muitas espécies na natureza (Huang *et al.*, 2022). Nesse contexto, a domesticação de plantas configura-se como uma estratégia relevante, por se tratar de um processo de seleção mediado pelo homem e de manejo da variabilidade genética das populações vegetais (Clement *et al.*, 2021). Esse processo favorece modificações fenotípicas em espécies silvestres com o objetivo de atender às necessidades humanas, principalmente por meio da seleção artificial, resultando em alterações genéticas na estrutura de plantas de interesse socioeconômico e cultural (Jeelani *et al.*, 2018). A domesticação consiste num processo evolutivo e contínuo, em que as populações vegetais passam a apresentar maior aptidão em resposta à seleção exercida pelo ser humano, conforme seu uso e manejo (Carrillo-Galván *et al.*, 2020). Trata-se, portanto, de um fenômeno complexo, resultado da interação entre fatores ambientais, características morfológicas das espécies e a ação humana ao longo do tempo.

A variação intraespecífica das populações determina a capacidade de adaptação e sobrevivência das espécies em diferentes condições ambientais, desempenhando um papel importante na resposta às mudanças climáticas (Sun *et al.*, 2021). O cultivo de espécies silvestres promove diversas alterações genéticas na estrutura das populações manejadas, as quais ocorrem ao longo de várias gerações e configuram uma resposta evolutiva às pressões seletivas impostas tanto pelo ambiente quanto pela intervenção humana (Montanari Junior, 2010). De acordo com Vieira *et al.* (2021), durante esse processo, certos caracteres fenotípicos passam a ser selecionados de forma recorrente, resultando em um conjunto de traços que distinguem as plantas domesticadas de seus ancestrais silvestres. Esse conjunto é conhecido como síndrome da domesticação e cada espécie domesticada apresenta uma síndrome própria, moldada por diferentes necessidades culturais, ecológicas e econômicas ao longo do tempo.

À medida que a domesticação se intensifica, as plantas cultivadas tornam-se progressivamente mais dependentes dos cuidados humanos e perdem parte das adaptações que possuíam em seu nicho natural (Hou *et al.*, 2025). A seleção contínua de novas variações ao longo de sucessivas gerações de cultivo amplia a divergência entre as populações cultivadas e as silvestres que lhes deram origem. Assim, quando uma planta cultivada já não possui mais uma

contraparte na natureza, considera-se que o processo de domesticação está consolidado (Vieira *et al.*, 2021).

Segundo Huang *et al.* (2022), embora a domesticação proporcione características desejáveis às plantas cultivadas, ela também acarreta uma redução significativa na variabilidade genética em comparação com suas populações silvestres. Para estes autores, a perda da diversidade presente nas populações silvestres limita o potencial adaptativo das espécies domesticadas frente a estresses bióticos e abióticos, especialmente em cenários de mudanças ambientais aceleradas. A diversidade presente nas populações silvestres sustenta os processos evolutivos, assim, a conservação desses recursos é essencial para garantir a continuidade da evolução adaptativa e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas no longo prazo (Sun *et al.*, 2021). Nesse sentido, estratégias que aliem conservação e uso sustentável desses recursos são indispensáveis, principalmente se tratando de plantas medicinais.

A maioria das espécies com potencial farmacológico ainda não é domesticada e há uma escassez de informações técnicas. No entanto, em programas de melhoramento genético de plantas medicinais é essencial a realização de estudos que abordem os fatores agronômicos que influenciam a estabilidade, o desenvolvimento, a resistência a estresses e a produção de metabólitos específicos (Dajic-Stefanovic; Pljevljakusic, 2015). Nesse sentido, Llamas-Torres *et al.* (2022), avaliou o impacto do manejo *in situ* e *ex situ* sobre a produção de folhas e características do óleo essencial de *Lippia origanoides* Kunth no noroeste de Yucatán e observaram que a produção de folhas foi significativamente maior nos lotes cultivados, em comparação com os quintais e vegetação natural, porém, a concentração de carvacrol no óleo essencial da espécie não apresentaram diferenças entre o manejo *in situ* e *ex situ*.

De acordo com Dar *et al.* (2021), no processo de domesticação das espécies cultivadas uma ocorrência comum foi a redução gradativa no teor de metabólitos secundários, por conta da seleção direcionada para frutos mais vistosos, mais doces, menos adstringentes, o que levou à perda gradativa da capacidade de resistência a doenças e pragas. Esse fato indica que na domesticação de plantas medicinais deve-se usar estratégias diferentes, que preserve o teor de metabólitos secundários nas mesmas, sob pena de perder gradativamente suas propriedades medicinais (Shan-Ku *et al.*, 2020). Para tanto, as avaliações fitoquímicas dos compostos secundários de interesse devem ser constantemente monitoradas por análises fitoquímicas específicas para cada classe de compostos, ao longo do processo de domesticação.

Pérez-Hernández *et al.* (2023) analisaram as práticas de manejo de *Piper auritum* Kunth em comunidades rurais e identificaram que a irrigação é a principal atividade de manejo em pomares. As populações manejadas apresentaram maior área foliar e menor teor de safrol comparado às populações ruderais. Nessa perspectiva, o cultivo dessas espécies é uma estratégia para preservar a diversidade genética e contribuir para a conservação das plantas, ao passo que fortalece o processo de domesticação desses recursos (Salgotra; Chauhan, 2023).

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. M. **Caracterização da morfoanatomia, fenologia e composição química do óleo essencial de *Aloysia hatschbachii* (Verbenaceae)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Rio Grande do Sul, 2020.
- BERGAMASCHI, H. **O clima como fator determinante da fenologia das plantas**. In: REGO, C. M., NEGRELLE, R. R. B. & MORELATTO, L. P. C. Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos. Colombo: Embrapa Florestas; p. 291-310, 2007.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química nova**, v. 32, p. 588-594, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300005>.
- BORGES, G. G. **Técnicas de extração de óleo essenciais: revisão e estudo de caso de hortelã-pimenta**. Monografia – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG, 2024.
- BOTREL, P. P. *et al.* Teor e composição química do óleo essencial de *Hyptis marruboides* Epl., Lamiaceae em função da sazonalidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 533-538, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.3415>.
- CARVALHO JÚNIOR, W. G. O.; MELO, M. T. P.; MARTINS, E. R. Fenologia do alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) em área de Cerrado, no norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista brasileira de plantas medicinais**, 13 (2), 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000200015>.
- CARRILLO-GALVÁN, G. *et al.* Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: *Agastache* (Lamiaceae)—an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis. **J Ethnobiology Ethnomedicine** 16, 22, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00368-2>.
- CLEMENT, C. R. *et al.* Disentangling domestication from food production systems in the Neotropics **Quaternary**, v.4, n.1, p.4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/quat4010004>.
- CNCFlora. 2022. ***Lippia insignis* in Lista Vermelha da flora brasileira**. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/ptbr/profile/Lippia%20insignis>. Acesso em 25 set. 2024.
- CNCFlora. Verbenaceae. 2025. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha/VERBENACEAE>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- COSTA, P. S. *et al.* Atividade antimicrobiana e potencial terapêutico do gênero *Lippia* sensu lato (Verbenaceae). **Hoehnea**, 44(2): 158-171, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-68/2016>.

DAR, M.S. *et al.* Influence of domestication on specialized metabolic pathways in fruit crops. **Planta** 253, 61, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03554-4>.

DAJIC-STEVANOVIC, Z.; PLJEVLJAKUSIC, D. Challenges and decision making in cultivation of medicinal and aromatic plants. **Medicinal and Aromatic Plants of the World: Scientific, Production, Commercial and Utilization Aspects**, p. 145-164, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9810-5_8.

DE OLIVEIRA, D. P. *et al.* Potencial terapêutico da *Lippia alba* (Mill.) NE Br. ex Britton & P. Wilson. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 1, p. e4613144732-e4613144732, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44732>.

FEIJÓ, E. V. R. S. *et al.* Genetic diversity of *Lippia origanoides* Kunth based in morpho-agronomic descriptors and chemical variability of the essential oils. **South African Journal of Botany**, v. 169, p. 350-360, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.033>.

GOMES, S. V. F. *et al.* Aspectos químicos e biológicos do gênero *Lippia* enfatizando *Lippia gracilis* Schauer. **Eclética Química**, vol.36 n.1, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702011000100005>.

HASSAN, T. *et al.* Plant phenology shifts under climate warming: a systematic review of recent scientific literature. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 1, p. 36, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12190-w>.

HUANG, R. *et al.* Limited genetic diversity and high differentiation in *Angelica dahurica* resulted from domestication: insights to breeding and conservation. **BMC Plant Biology**, v. 22, n. 1, p. 141, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03545-5>.

HOU, C. *et al.* Domestication of medicinal plants (*Lonicera japonica* Thunb.) in China: comparison of morphological, resistance and biochemical traits between wild and cultivated populations. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1501396, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1501396>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese**. Rio de Janeiro. IBGE, 2025. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 12 fev. 2025.

JEELANI, S. M. *et al.* In perspective: Potential medicinal plant resources of Kashmir Himalayas, their domestication and cultivation for commercial exploitation. **Journal of applied research on medicinal and aromatic plants**, v. 8, p. 10-25, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.11.001>.

LAMEIRA, O. A.; AMORIM, A. C. L. Substâncias ativas de plantas medicinais. In: LAMEIRA, O. A.; PINTO, J. E. B. P. (Ed.). **Plantas medicinais: do cultivo, uso e manipulação à recomendação popular**. Belém, PA: p. 73-82, **Embrapa Amazônia Oriental**, 2008.

LLAMAS-TORRES, I. *et al.* Impacto del manejo in situ-ex situ del orégano mexicano (*Lippia*

origanoides Kunth) en el noroeste de Yucatán. **Botanical Sciences**, v. 100, n. 3, p. 610-630, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17129/botsci.2994>.

MAR, J. M. *Lippia origanoides* essential oil: An efficient alternative to control *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. **Industrial Crops and Products**, v.111, p. 292-297, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.033>.

MONTANARI JUNIOR, I. Domesticação de plantas medicinais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 255, p. 1-5, 2010.

NEVES *et al.* The roles of rainfall, soil properties, and species traits in flowering phenology along a savanna-seasonally dry tropical forest gradient. **Brazilian Journal of Botany**, 40: 665–679. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0368-1>.

OLIVEIRA, L. F. S. *et al.* Desafios e perspectivas na preservação de variedades tradicionais sobre risco de erosão genética na comunidade de Palmital dos Carvalhos–MG. **Revista Delos**, v. 17, n. 62, p. e3063-e3063, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n62-047>.

OLIVEIRA, A. R. M. F. **Morfoanatomia, composição química e atividade biológica do óleo essencial de espécies nativas de *Lippia***. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2014.

OLIVEIRA, A. R. M. F. *et al.* Leaf anatomy and essential oil production of *Lippia* native species. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 93, n. 3, p. 324-335, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.37856/bja.v93i3.3238>.

OLIVEIRA, E. C. P. *et al.* Análises Fenológicas do Melhoral–Evolvulus Glomeratus NEES & C. MART. (Convolvulaceae). **Revista Foco**, v. 16, n. 02, p. 01-06, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-103>.

PASCUAL, M. E. *et al.* *Lippia*: tradicional uses, chemistry and pharmacology: a review. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 76, p. 201-214, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00234-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00234-3).

PÉREZ-HERNÁNDEZ, R. G. *et al.* Usos tradicionales y prácticas de manejo de *Piper auritum* en comunidades maya rurales de Yucatán. **Botanical Sciences**, v. 101, n. 4, p. 1049-1069, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.17129/botsci.3305>.

PROCHNOW, D. **Crescimento, Produção e Qualidade do Óleo Essencial de *Aloysia triphylla* em Função da disponibilidade hídrica e Sazonalidade**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

RIBEIRO, F. N. S. *et al.* Fenologia e propagação vegetativa de *Lippia dulcis* Trevir (Verbenaceae). **Research, Society and Development**, v.11, n.16, e 298111638261, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38261>.

RAMAN, V. *et al.* Proteomic analysis reveals that an extract of the plant *Lippia origanoides*

suppresses mitochondrial metabolism in triple-negative breast cancer cells. **Journal of Proteome Research**, v.17, n. 10, p.3370-3383, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.8b00255>.

REIS, H. S. *et al.* Plantas medicinais da caatinga: uma revisão integrativa dos saberes etnobotânicos no semiárido nordestino. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, v. 2, pág. 874-900, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25110/arqsaude.v27i2.2023-020>.

RIBEIRO, S. M.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. Influência da sazonalidade e dociclocircadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. **Iheringia**, Série Botânica., v. 73, n. 1, p. 31-38, 2018. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-1606-7731>.

RODRIGUES, D. W.; OLIVEIRA, J. A. S. Óleos essenciais de *Piper* L. (Piperaceae) e sua aplicação biotecnológica na agricultura: uma revisão da literatura. **Arquivos do Mundi**, v. 25, n. 2, p. 100-110, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v25i2.60107>.

SANTANA, S. R.; GOMES, R. S. Propriedades Fitoquímicas e Perspectivas do Melhoramento Genético de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek: Revisão de Literatura. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 3, p. 353-359, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2022v26n3p353-359>.

SANTOS, D. R. *et al.* Insecticidal activity of essential oils of species from the genus *Lippia* against *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae). **Sociobiology**. 67(2): 292-300, June, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i2.4992>.

SANTOS, A. C. B *et al.* Uso popular de espécies medicinais da família Verbenaceae no Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Campinas, v.17, n.4, supl. II, p.980-991, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_083.

SALIMENA, F.R.G. *et al.* Verbenaceae. In: **Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio De Janeiro**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB246>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SALGOTRA, R. K.; CHAUHAN, B. S. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. **Genes**, v. 14, n. 1, p. 174, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes14010174>.

SALIMENA, F.R.G.; CARDOSO, P.H. *Lippia*. In: **Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15170>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SALES, R. P. **Ecogeografia e desempenho agrônômico de *Lippia insignis* Moldenke em três sistemas de cultivo**. Dissertação-Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2020.

SILVESTRO, R. *et al.* From Roots to Leaves: Tree Growth Phenology in Forest

Ecosystems. **Current Forestry Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40725-025-00245-9>.

SILVA, C. B. *et al.* A importância da ação antioxidante de óleos essenciais em benefício da saúde. **Diversitas Journal**, v. 2, n. 1, p. 52-55, 30 abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v2i4.483>.

SHAN-KU, Y. *et al.* The effects of domestication on secondary metabolite composition in legumes. **Frontiers in genetics**, v. 11, p. 581357, 2020. Disponível em: [10.3389/fgene.2020.581357](https://doi.org/10.3389/fgene.2020.581357).

SOARES, B. V.; DIAS, M.T. Espécies de *Lippia* (Verbenaceae), seu potencial bioativo e importância na medicina veterinária e aquicultura. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 109-123, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45517139.pdf>.

SCHINDLER, B.; SILVA, D. T.; HEINZMANN, B. M. Efeito da sazonalidade sobre o rendimento do óleo essencial de *Piper gaudichaudianum* Kunth. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 263-273, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831581>.

SUN, J. *et al.* Heterogeneous genetic diversity estimation of a promising domestication medicinal motherwort leonurus cardiaca based on chloroplast genome resources. **Frontiers in Genetics**, v. 12, p. 721022, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.721022>.

TAVARES, L. S. *et al.* Antimicrobial peptide selection from *Lippia* spp leaf transcriptomes. **Peptídeos**, v. 129, pág. 170317, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2020.170317>.

TRINDADE, S. C. *et al.* Antimicrobial activity of methanol extracts from different species of the genus *Lippia*. **Research, Society and Development**, v.10, n.9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18051>.

TELES, J. R. *et al.* Potencial Antimicrobiano de Plantas da Família Verbenaceae no Semiárido Nordeste: Uma Revisão Sistemática. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 151-151, 2020.

VIANA, C. M. S. S. *et al.* Fenologia de *Eugenia pyriformis* Cambess (uvaia) em reflorestamento no sudoeste do Paraná. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 2, p. 58-63, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21726/abc.v7i2.149>.

VIEIRA, L. N. *et al.* Domesticação de plantas: um processo co-evolutivo. **Genética na Escola**, v. 16, n. 2, p. 356-367, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.55838/1980-3540.ge.2021.394>.

VILELA, D. A. D. *et al.* *Lippia alnifolia* essential oil induces relaxation on Guinea-pig trachea by multiple pathways. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 246, p. 112162, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112162>.

CAPÍTULO 1

FENOLOGIA DE *Lippia insignis* Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA

*Artigo submetido à Revista Botany Letters.

RESUMO

O gênero *Lippia* reúne aproximadamente 200 espécies de ervas, arbustos e pequenas árvores. No Brasil, cerca de 120 espécies ocorrem predominantemente nos biomas Cerrado e Caatinga. Este gênero é reconhecido pela elevada diversidade de compostos bioativos. Apesar do seu potencial, algumas espécies encontram-se em estado de vulnerabilidade e ameaçadas de extinção, como *Lippia insignis* Moldenke, um arbusto aromático endêmico da Bahia. Diante desse cenário, estudos voltados à conservação e ao cultivo dessas espécies tornam-se essenciais. Nesse contexto, a fenologia representa uma importante ferramenta para a compreensão da influência dos fatores climáticos sobre o ciclo de vida das plantas. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da sazonalidade sobre a fenologia de *L. insignis* nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia. O experimento foi realizado na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana. Entre maio de 2024 e abril de 2025, foram feitas observações fenológicas quinzenais em 24 indivíduos, com registros da intensidade e sincronia dos eventos. Os dados climáticos foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia e com base nas coordenadas geográficas do Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. Os resultados indicaram alta sincronia entre os indivíduos nas fenofases de senescência, folha madura e brotamento, com frequência superior a 60%. As variáveis ambientais analisadas apresentaram correlação significativa com as fenofases, exceto folha madura e brotamento. Os eventos de floração e a frutificação demonstraram padrões sazonais. Esses resultados reforçam a importância dos fatores climáticos na regulação dos eventos fenológicos, além de fornecer subsídios para a definição de estratégias de manejo e conservação da espécie.

Palavras-chave: Plantas medicinais e aromáticas; Sazonalidade; Domesticação; Cultivo.

ABSTRACT

The genus *Lippia* comprises approximately 200 species of herbs, shrubs, and small trees. In Brazil, around 120 species occur predominantly in the Cerrado and Caatinga biomes. This genus is recognized for its high diversity of bioactive compounds. Despite its potential, some species are classified as vulnerable and threatened with extinction, such as *Lippia insignis* Moldenke, an aromatic shrub endemic to Bahia. Given this scenario, studies focused on the conservation and cultivation of these species become essential. In this context, phenology represents an important tool for understanding the influence of climatic factors on the life cycle of plants. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of seasonality on the phenology of *L. insignis* under the climatic conditions of Feira de Santana, Bahia. The experiment was conducted at the Experimental Unit of the Forest Garden of the State University of Feira de Santana. From May 2024 to April 2025, biweekly phenological observations were carried out on 24 individuals, with records of the intensity and synchrony of the events. Climatic data were obtained from the National Institute of Meteorology and based on the geographic coordinates provided by the Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. The results indicated high synchrony among individuals in the phenophases of senescence, mature leaves, and sprouting, with a frequency above 60%. The environmental variables analyzed showed a significant correlation with the phenophases, except for mature leaves and sprouting. Flowering and fruiting events demonstrated seasonal patterns. These results reinforce the importance of climatic factors in regulating phenological events and provide support for defining species management and conservation strategies.

Keywords: Medicinal and aromatic plants; Seasonality; Domestication; Cultivation.

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com a maior biodiversidade de espécies vegetais do mundo, com ampla variedade de espécies nativas e endêmicas (IBGE, 2025). Dentre esta diversidade biológica, destacam-se inúmeras espécies medicinais, que apresentam elevado potencial para a produção de compostos bioativos, capazes de atender à crescente demanda por produtos de origem vegetal (Pereira *et al.*, 2021).

O gênero *Lippia* Linn. (Verbenaceae), amplamente distribuído em diferentes biomas brasileiros, é conhecido por sua expressiva diversidade de metabólitos secundários com propriedades terapêuticas (Santana; Gomes, 2022). As espécies desse gênero têm sido tradicionalmente utilizadas na medicina popular e vêm despertando crescente interesse científico em razão de seu potencial farmacológico e industrial. *Lippia* constitui um grupo taxonômico diversificado, amplamente distribuído nas regiões das Américas, África e Ásia, compreendendo cerca de 200 espécies, entre ervas, arbustos e pequenas árvores (Salimena; Cardoso, 2020). Seus principais centros de diversidade encontram-se no México e no Brasil, principalmente na Cadeia do Espinhaço, que se estende pelos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás, considerada a área de maior concentração de espécies. Estima-se que cerca de 120 espécies ocorrem nos biomas Cerrado e Caatinga, dois importantes biomas brasileiros (Costa *et al.*, 2017).

Lippia é um gênero rico em compostos bioativos, predominante em seus óleos essenciais, produzidos a partir do metabolismo secundário das plantas (Rodrigues; Oliveira, 2021). Entre suas atividades farmacológicas comprovadas, destacam-se as ações antiespasmódica (Pascual *et al.*, 2001), sedativa (Pascual *et al.*, 2001), anti-inflamatória (Pascual *et al.*, 2001; Soares; Dias, 2013), antimicrobiana (Gomes *et al.*, 2011; Soares; Dias, 2013), anticancerígena (Raman *et al.*, 2018) e antioxidante (Mar *et al.*, 2018).

A espécie *Lippia insignis* Moldenke é um arbusto aromático, pouco ramificado, nativa do Brasil e endêmica da Bahia, com dispersão restrita aos campos rupestres da Chapada Diamantina (Salimena; Cardoso, 2020), o que torna suas populações mais vulneráveis às ações antrópicas. Estudos preliminares têm demonstrado elevada atividade biológica dos extratos e óleos essenciais da espécie. Em estudos realizados por Trindade *et al.* (2021), o extrato metanólico da espécie apresentou atividade antibacteriana e antifúngica, destacando seu potencial de uso na biotecnologia. Já Santos *et al.* (2020) verificaram propriedades inseticidas no óleo essencial, sugerindo que os mesmos podem ser utilizados no biocontrole de pragas, como *Nasutitermes corniger* (Motschulsky). Apesar de seu elevado potencial

medicinal e bioinseticida, há uma significativa escassez de estudos envolvendo a espécie, principalmente nas áreas de domesticação e cultivo, o que limita o avanço de estratégias voltadas ao manejo e conservação.

Dessa forma, estudos envolvendo *Lippia insignis* são indispensáveis para mitigar os riscos de extinção, especialmente considerando que a espécie se encontra em estado de vulnerabilidade (CNCFlora, 2022). Tais pesquisas contribuem não apenas para a conservação da espécie, mas também para o uso sustentável de seu potencial biológico. Nesse contexto, os estudos fenológicos, que investigam os padrões de desenvolvimento e reprodução das plantas ao longo do ano, desempenham um papel fundamental, pois permitem compreender como fatores ambientais influenciam no ciclo de vida das espécies (Morellato *et al.*, 2016). A compreensão desses aspectos contribui diretamente para a proteção dos ecossistemas naturais e é indispensável na formulação de estratégias voltadas ao manejo e à conservação de espécies nativas, que estão em risco de extinção ou que ainda não são domesticadas (Campelo *et al.*, 2021).

Diversos estudos fenológicos já demonstraram como a sazonalidade afeta diretamente os ciclos reprodutivos e vegetativos das espécies. Em *Lippia dulcis* Trevir, Ribeiro *et al.* (2022) observaram que os períodos de maior floração e frutificação coincidiram com os meses de menor disponibilidade hídrica, sugerindo uma estratégia adaptativa às condições sazonais. Em *Lippia lasiocalycina* Cham., Rocha e Oliveira (2025) identificaram alta sincronia fenológica para o brotamento e o desenvolvimento de folhas maduras, o que indica a possibilidade de colheita e exploração econômica dessa espécie durante todas as estações do ano. Em estudo com *Protium spruceanum* (Benth.) Engl., Santos *et al.* (2024) verificaram que as fenofases reprodutivas foram sincrônicas e fortemente sazonais, sendo influenciadas por variáveis ambientais, como temperatura e regime de chuva. Esses resultados reforçam a importância dos estudos fenológicos como ferramenta para o manejo sustentável dos recursos genéticos vegetais, uma vez que possibilitam a identificação dos estágios ideais para a coleta e utilização das partes da planta com valor econômico e medicinal (Araújo, 2020).

Considerando esse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência da sazonalidade sobre a fenologia de *Lippia insignis* Moldenke, sob as condições climáticas de Feira de Santana, Bahia.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Local de cultivo

O experimento foi conduzido na Unidade Experimental Horto Florestal da

Universidade Estadual de Feira de Santana (UNEHF/UEFS), no município de Feira de Santana, Bahia, localizado entre as coordenadas 12° 15' 24" S e 37° 57' 53" W.

1.2.2 Propagação da espécie

A produção de mudas foi realizada pelo método de estaquia. As plantas matrizes foram provenientes da Coleção de Plantas Medicinais pertencente a UNEHF/UEFS. A propagação foi realizada a partir de estacas apicais com aproximadamente 10 cm de comprimento, plantadas em copos descartáveis de 200 ml preenchidos com substrato comercial Tropstrato®. As plantas permaneceram nesses recipientes por 45 dias, sendo irrigadas manualmente duas vezes ao dia, mantidas em casa de vegetação, até o plantio definitivo. Quando atingiram aproximadamente 20 cm de altura foram levadas para o local definitivo, onde foram transplantadas em covas com 30 x 30 x 30 cm, adubadas com esterco bovino curtido na proporção de 1 litro por cova, com espaçamento de 1 metro entre plantas.

1.2.3 Coleta de dados fenológicos

As coletas dos dados fenológicos foram realizadas no final da primeira quinzena e no último dia de cada mês, de maio de 2024 a abril de 2025 (12 meses). Foram avaliadas 24 plantas, a partir dos 90 dias de transplântio, momento em que já haviam atingido o florescimento. Foi registrada a presença ou ausência das fenofases para cada indivíduo: brotamento - observado pelo surgimento de brotos foliares até a expansão total das folhas novas; folhas maduras - folhas completamente expandidas; senescência foliar - observada pelo amarelecimento das folhas; floração - aparecimento dos botões florais até maturação das últimas flores; frutificação - indicada pelo fim da última flor madura e posterior formação de sementes; queda foliar - observada pelos galhos vazios e folhas caídas no solo (Figura 1).

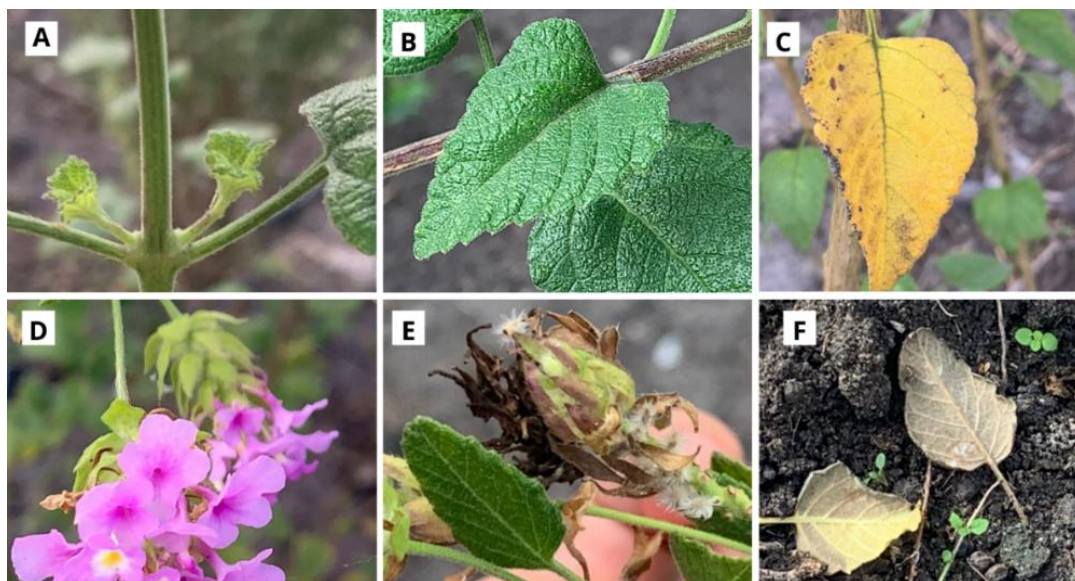


Figura 1. Aspectos da fenologia de *Lippia insignis* Moldenke. A: Brotamento; B: Folha madura; C: Senescência foliar; D: Floração; E: Frutificação; F: Queda foliar. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora).

Para quantificar a intensidade dos eventos fenológicos foi adotada a metodologia proposta por Fournier (1974), no qual apresenta uma escala intervalar semi quantitativa, com 5 categorias. Deste modo, (0) representa a ausência da fenofase, (1) presença da fenofase no intervalo entre 1 a 25%, (2) presença da fenofase entre 26% a 50%, (3) presença da fenofase entre 51% a 75% e (4) presença da fenofase entre 76% a 100%. A análise dos dados foi realizada com base no percentual de intensidade de Fournier e do índice de atividade (ou porcentagem de indivíduos). Este último identifica a presença ou ausência de eventos fenológicos, permitindo avaliar a sincronia entre os indivíduos, sendo considerado assincrônico quando apresentados por menos de 20% das plantas, com baixa sincronia (20-60%) e alta sincronia (>60%) (Bencke; Morellato, 2002). Os dados quinzenais de índice de precipitação total (mm), temperatura média (°C), radiação (Kj m⁻²) e umidade relativa do ar (%) foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<https://portal.inmet.gov.br/>). Os dados referentes ao fotoperíodo foram obtidos com base nas coordenadas geográficas pelo Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory (https://aa.usno.navy.mil/data/RS_OneYear).

1.2.4 Análise estatística

A sazonalidade dos eventos fenológicos foi verificada por meio de estatística circular, na qual foi calculada a frequência de ocorrência dos eventos fenológicos em cada mês. Os meses do ano foram convertidos em ângulos de 15°, permitindo o cálculo do ângulo médio, da concentração dos dados e do comprimento do vetor *r*. A normalidade dos

dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e, como não apresentaram distribuição normal ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de correlação de Spearman para determinar o coeficiente de correlação e sua significância, relacionando as variáveis ambientais com as fenofases. As análises foram realizadas no software estatístico R, versão 4.2.3 (R Core Team, 2023).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as observações fenológicas a temperatura média variou entre 23 °C em 30/junho e 28,85 °C em 31/dezembro. A precipitação total atingiu maiores volumes na primeira quinzena de janeiro, com 130,6 mm, em contraste com a segunda quinzena de março, que registrou o menor volume de 0,8 mm ao longo do período de acompanhamento. Já a umidade relativa do ar variou entre 67,63% (31/dez) a 90,49% (15/jun). O fotoperíodo atingiu duração mínima de 11:24:20 h em 30/junho e máxima de 12:50:15 h em 15/dezembro. A radiação atingiu o pico de 848,13 kJ/m² em 31/janeiro, apresentando redução em 15/agosto, com 546,8838 kJ/m² (Figura 2).

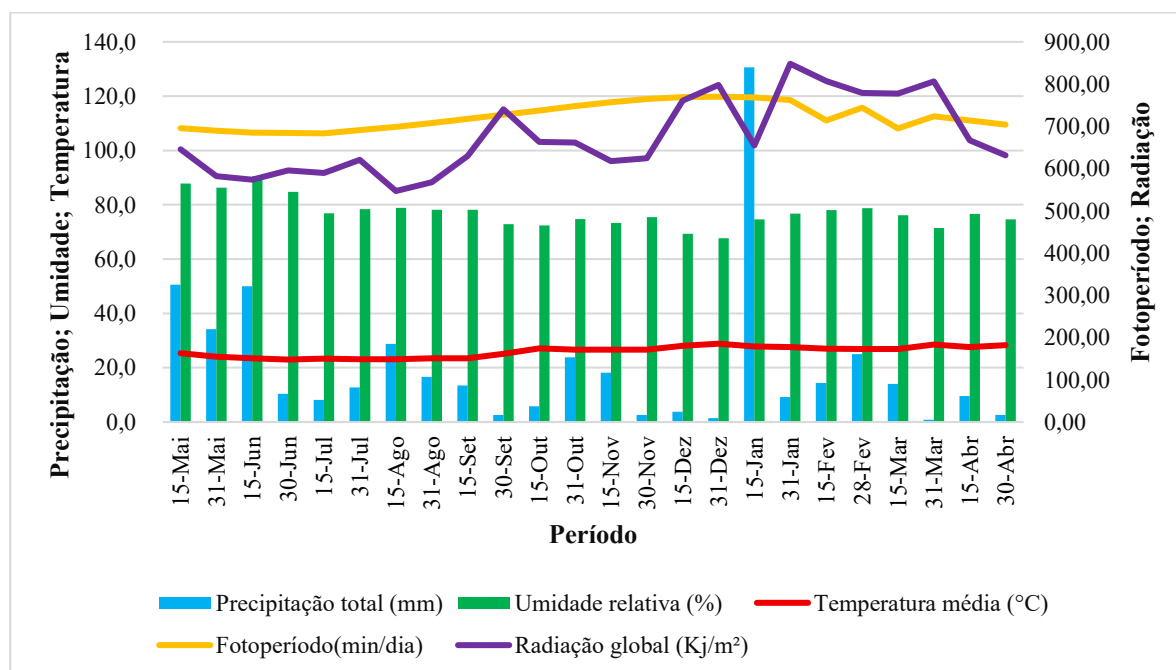


Figura 2. Dados quinzenais de Precipitação total (mm), Temperatura (°C), Umidade relativa (%), Radiação global (Kj/m²) e Fotoperíodo (min/dia) coletados no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

Conforme a análise circular (Tabela 1), os eventos fenológicos brotamento e folha madura não apresentaram ângulo médio, nem data média definida, indicando ocorrência

contínua ao longo do ano. A senescência e a queda foliar apresentaram datas médias definidas em torno de 08/agosto e 13/dezembro, respectivamente, no entanto, com valor r baixo e ausência de significância estatística ($p > 0,05$), indicando baixa concentração do evento e da sazonalidade. Já a fenofase floração ocorreu em torno de 03/setembro, apresentando uma concentração mais elevada comparada às outras fenofases, embora ainda baixa, e valor- p significativo ($p < 0,05$), indicando sazonalidade. O mesmo foi observado com a frutificação, com data média em torno de 15/novembro, indicando que esses eventos ocorrem de forma sazonal.

Tabela 1. Análise estatística circular para sincronia dos eventos fenológicos de brotamento, folha madura, senescência foliar, floração, queda foliar e frutificação de *Lippia insignis* Moldenke no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

Fenofases	Ângulo médio	Data média	R	p
Brotamento	Não tem	Ano todo	0	1
Folha Madura	Não tem	Ano todo	0	1
Senescência	97,6	08/08/2024	0,03483628	0,5217997
Floração	123	03/09/2024	0,1044442	0,01245975
Queda Foliar	222,7	13/12/2024	0,02825694	0,6533932
Frutificação	147,78	15/11/2024	0,1210964	0,00103064

O comportamento fenológico de *L. insignis* indica alta sincronia das fenofases de senescência, folha madura e brotamento, com mais de 60% dos indivíduos apresentando a mesma fenofase simultaneamente (Figura 3). A elevada sincronia entre os indivíduos pode desencadear vantagens ecológicas e produtivas, pois além de minimizar os efeitos da herbivoria para as plantas possibilita, também, que a coleta de material vegetal seja realizada em períodos favoráveis e em estágios fenológicos padronizados (Alves *et al.*, 2021).

As fenofases brotamento e folha madura apresentaram 100% de sincronia em todos os períodos analisados. Para a senescência, observou-se constância ao longo da maior parte do período, com mais de 80% dos indivíduos exibindo o evento, exceto em 15/janeiro. O mesmo padrão foi observado para a queda foliar, com menor sincronia registrada em 15 de agosto. A floração apresentou 100% de sincronia em pelo menos uma das quinzenas de agosto, setembro, novembro, janeiro, fevereiro e abril; e em 31/março nenhum dos indivíduos foi observado em floração. A frutificação também apresentou 100% de sincronia entre os indivíduos em vários meses ao longo do período de observação.

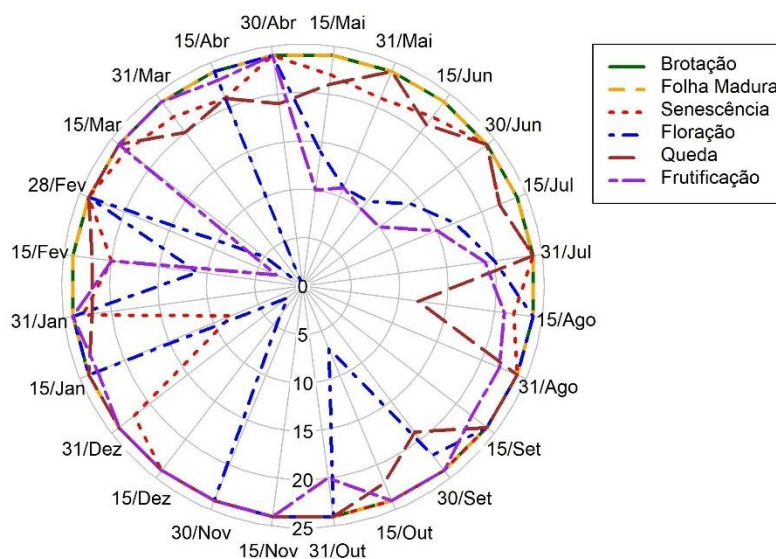


Figura 3. Análise circular para a sincronia dos eventos na espécie *Lippia insignis* Moldenke para as fenofases de brotamento, queda foliar, folha madura, senescência foliar, floração e frutificação, no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, BA, Brasil.

Analisando a intensidade dos eventos fenológicos (Figura 4), observou-se que a fenofase folha madura manteve-se constante, com 100% de intensidade ao longo de todo o ano, indicando um comportamento perenifólio para *L. insignis*. Este comportamento favorece o equilíbrio das taxas de produtividade primária, evitando a concentração em um único período sazonal (Alves *et al.*, 2021), o que torna relevante, principalmente para o uso sustentável da espécie, uma vez que as folhas são o principal órgão utilizado para extração de compostos voláteis. O brotamento teve ocorrência contínua, embora com variações na intensidade, com pico registrado em 15/fevereiro (59,73%). A queda foliar reduziu em 15/agosto (11,45%) e aumentou em 31/dezembro, atingindo 55,20%, possivelmente relacionados à elevada temperatura e radiação.

A senescência apresentou valores oscilando entre 8,33% em 15/janeiro e 36,46% em 30 de novembro e dezembro. Já a floração atingiu maior intensidade em 31/outubro (92,71%) e menor intensidade em 31/março, quando não foi observada nenhuma flor. Para a frutificação, a maior intensidade ocorreu em 15/outubro, com 80,20%, enquanto a menor intensidade foi de 3,12%, registrada em 28/fevereiro. Com base nessas informações, é possível perceber que o período de maior intensidade da frutificação antecede o pico da floração, o que pode ser explicado pela sobreposição dos ciclos reprodutivos, onde os frutos formados por flores de meses anteriores ainda estavam presentes em outubro. Além disso, foi

observado a presença simultânea de flores e frutos em diferentes estágios de desenvolvimento, o que também deve ter contribuído para este deslocamento.

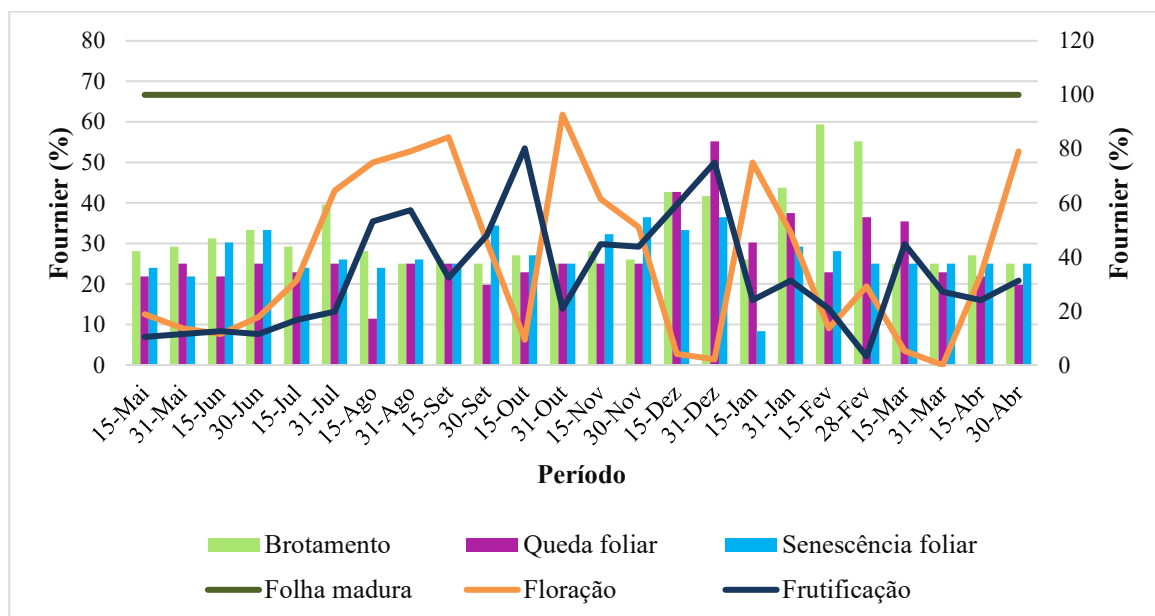


Figura 4. Intensidade dos eventos pelo método de Fournier, para as fenofases de brotamento, queda foliar, folha madura, senescência foliar, flor e frutificação, de *Lippia insignis* Moldenke no período de maio de 2024 a dezembro de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

Levando em consideração o comportamento fenológico observado para espécie *Lippia insignis* Moldenke, verifica-se que a coleta de biomassa foliar pode ser realizada em qualquer época do ano. Entretanto, a primeira quinzena de agosto apresentou menor intensidade de queda foliar, resultando em menor perda de folhas, destacando-se como o período mais favorável. Já para a coleta de sementes da espécie, o período ideal seria entre 15/outubro e 30/dezembro, quando ocorre maior intensidade da fenofase.

As condições ambientais podem desencadear diferentes respostas no metabolismo vegetal, exercendo influência significativa na dinâmica fenológica das espécies e, consequentemente, modulando a intensidade e a duração dos eventos ao longo do ano (Santos *et al.*, 2024). Nesse sentido, a correlação é muito indicada para o entendimento dos eventos fenológicos e climáticos. Assim, foram identificadas correlações significativas entre o fotoperíodo com a frutificação e queda foliar; radiação e floração; umidade e frutificação; precipitação com senescência e frutificação (Figura 5).

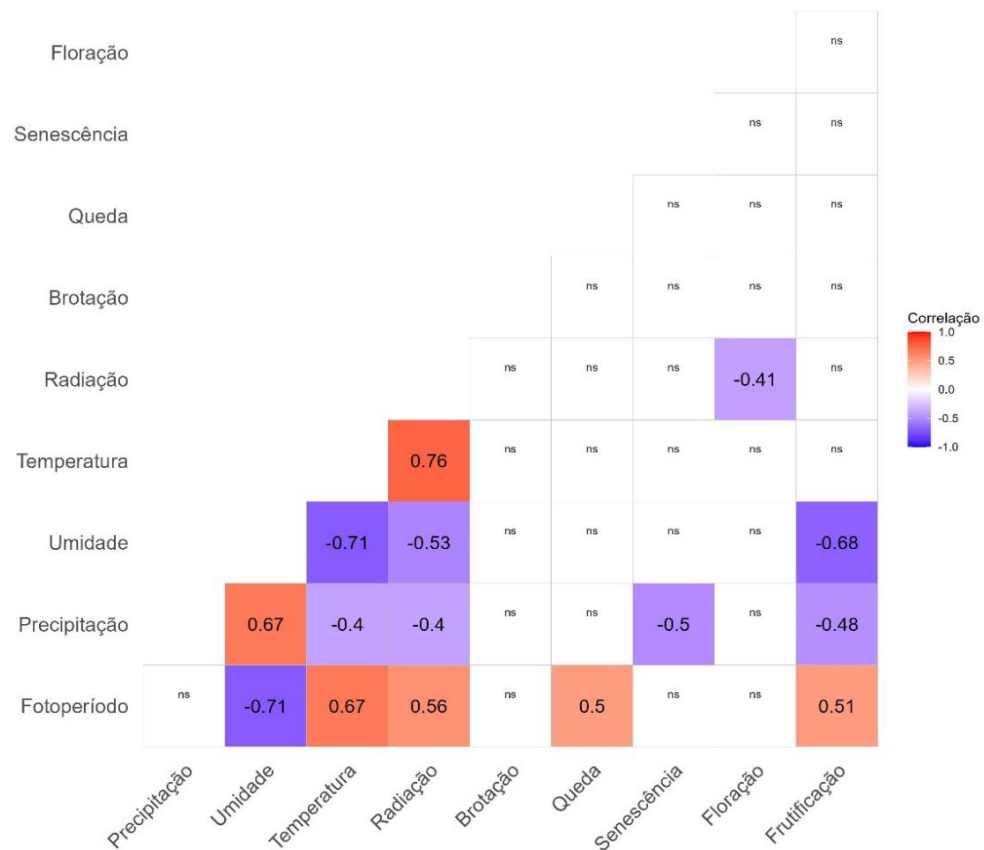


Figura 5. Coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis precipitação total (mm), temperatura (°C), umidade relativa (%), radiação global (Kj/m²) e fotoperíodo (h/dia) e as fenofases de brotamento, queda foliar, senescência foliar, floração e frutificação da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025. ns = correlação não significativa ($p > 0,05$).

A queda foliar apresentou correlação positiva com fotoperíodo (Figura 5 e Figura 6). Este comportamento sugere que o aumento no comprimento do dia desencadeia estresses fisiológicos na planta, provocando a perda de folhas. Fotoperíodos longos associado a elevada temperatura e baixo índice pluviométrico favorece a perda de água por transpiração, levando a planta a ativar mecanismos responsáveis por minimizar a perda excessiva de água, como a abscisão foliar (Taiz *et al.*, 2021). Outro aspecto importante é que o estresse térmico pode desencadear aumento da biossíntese de etileno na lâmina foliar, uma vez que este hormônio é o principal impulsionador da formação da zona de abscisão (Bispo *et al.*, 2024). Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Costa e Lameira (2021), avaliando a fenologia de *Copaifera martii* (Hayne), identificaram correlação positiva entre altas temperaturas, insolação total e a queda foliar.

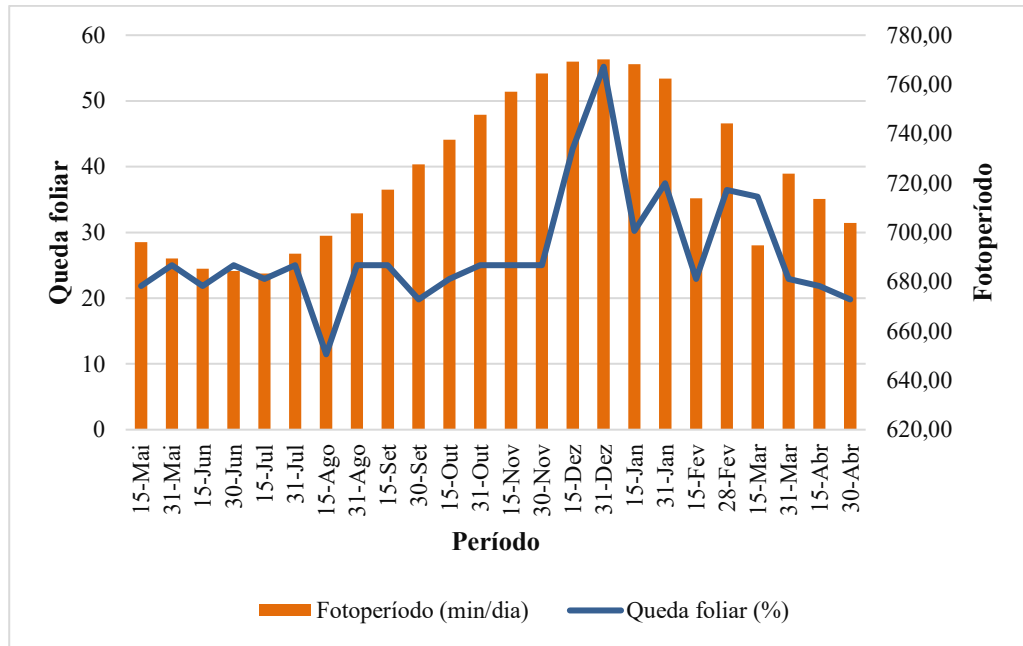


Figura 6. Relação entre fotoperíodo (min/dia) e a queda foliar (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

A senescência foliar apresentou correlação negativa com a precipitação (Figura 5 e Figura 7), indicando que a redução da precipitação atua como indutor deste processo.

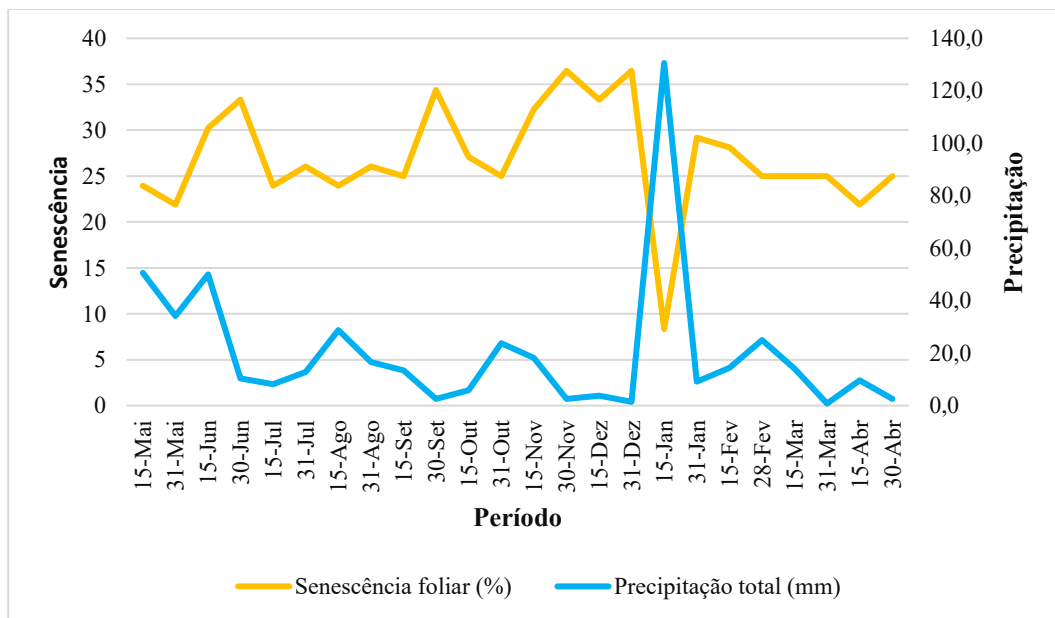


Figura 7. Relação entre a precipitação total (mm) e a senescência foliar (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

A senescência é o processo de desenvolvimento no qual a planta desmonta organelas e degrada macromoléculas, visando a remobilização de nutrientes das folhas envelhecidas e

fotossinteticamente ineficientes, para outras partes ativas da planta, como as folhas jovens (Taiz *et al.*, 2021). Embora seja um processo natural, pode ser acelerado por condições ambientais estressantes, principalmente o estresse hídrico. Neste caso, funciona como um mecanismo de adaptação para evitar a perda de água por transpiração, reduzindo a área foliar ativa (Cruz *et al.*, 2022). Além disso, a redução do fluxo de água pode comprometer o transporte de nutrientes para as folhas, pois este fluxo é responsável tanto pelo impulso do transporte de nutrientes da raiz para a copa, bem como o fluxo de massa de nutrientes do solo para o sistema radicular (Sellin *et al.*, 2013). Isto corrobora com os estudos de Soares *et al.* (2013), que correlacionando o ambiente com as fenofases de *Annona coriacea* Mart., identificaram que a maior intensidade da senescência foliar ocorreu durante o período de estiagem.

A floração apresentou correlação negativa com a radiação solar (Figura 5 e Figura 8). O estresse luminoso pode ocorrer quando o excesso de luminosidade absorvido pela planta supera a capacidade da maquinaria fotossintética de converter luz em açúcares. Esse desequilíbrio compromete a eficiência da fotossíntese e pode desencadear danos celulares, afetando diretamente os processos de desenvolvimento reprodutivo (Taiz *et al.*, 2021). Nesse contexto, Rocha *et al.* (2015), verificaram a mesma correlação em estudo com a espécie *Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore.

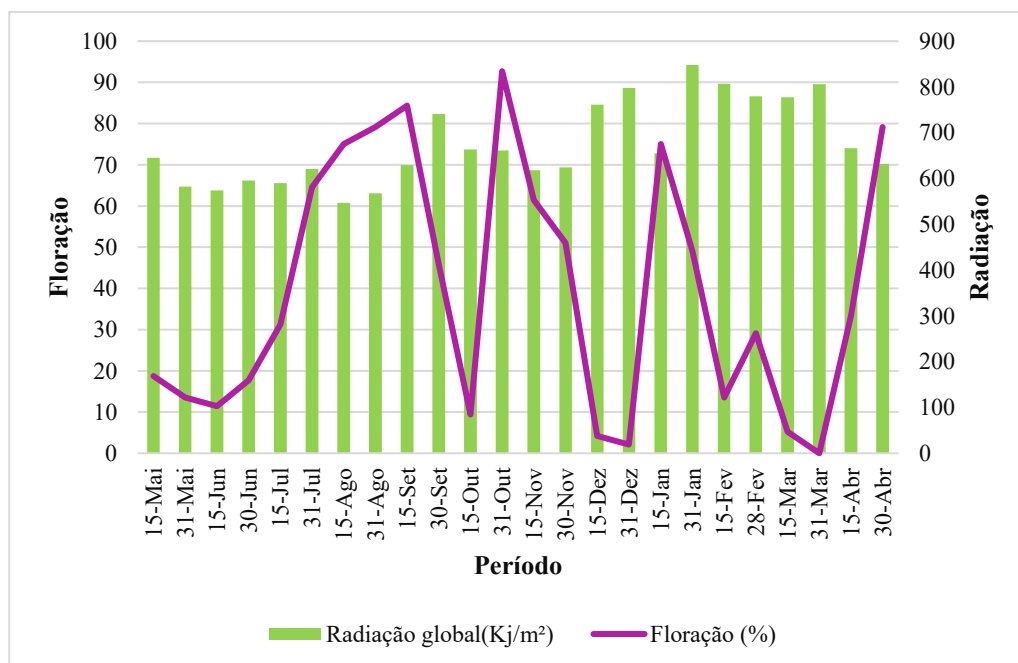


Figura 8. Relação entre a radiação (Kj/m^2) e a floração (% Fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

A frutificação apresentou correlação positiva com fotoperíodo (Figura 5 e Figura 9), sugerindo que o comprimento do dia pode estimular a frutificação.

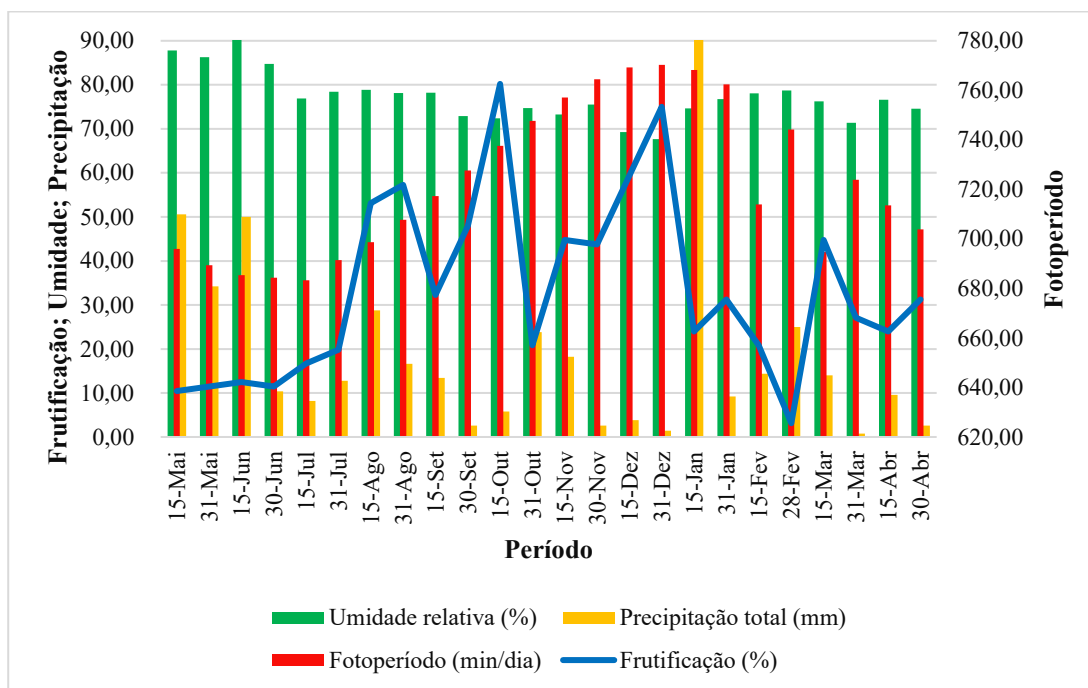


Figura 9. Relação entre a umidade relativa (%), precipitação total (mm), fotoperíodo (min/dia) e a frutificação (% fournier) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

O fotoperíodo determina a duração de exposição da planta à luz e dias mais longos promovem maior acúmulo de fotoassimilados, por conta do aumento da duração da fotossíntese diária, fornecendo mais energia para a plantas (Nogueira *et al.*, 2020). Resultado semelhante foi encontrado por Lubke, Corrêa e Filippi (2021), que avaliando o comportamento fenológico de *Trema micrantha* (L.) Blume identificaram que o fotoperíodo favorece a emissão de gemas reprodutivas.

Em relação à umidade relativa e precipitação, verificou-se correlação negativa (Figura 5 e Figura 9). Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que a frutificação demanda elevado consumo de fotoassimilados. No entanto, em condições de alta precipitação e umidade relativa, o excesso de água que pode retardar o metabolismo, reduzindo a taxa fotossintética e, consequentemente, a disponibilidade de fotoassimilados necessários para sustentar os processos da frutificação (Taiz *et al.*, 2021). Nesse contexto, Rocha *et al.* (2015), encontraram a mesma correlação negativa para espécie *Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore. Ribeiro *et al.* (2022), estudando a fenologia de *Lippia dulcis* Trevir identificaram que a frutificação coincidiu com os períodos de menor precipitação.

Esses resultados demonstram a influência das variáveis ambientais e dos eventos fenológicos da espécie *L. insignis* Moldenke, indicando uma adaptação da espécie às condições adversas ao seu crescimento. Nesse sentido, há a necessidade de realizar acompanhamentos fenológicos de longa duração, visando avaliar a interferência desses fatores nos padrões fenológicos. A compreensão dessa relação faz-se necessário, uma vez que a sua identificação permite aprimorar as práticas de coleta, garantindo que sejam realizadas em períodos mais adequados. Além disso, os resultados obtidos neste trabalho poderão otimizar a produção de *L. insignis*, nortando ações de cultivo e manejo.

1.4 CONCLUSÃO

Considerando as condições experimentais e climáticas do período de estudo, pode-se inferir que a espécie *Lippia insignis* Moldenke apresenta alta sincronia para os eventos senescência, folha madura e brotamento. A coleta de folhas da espécie pode ser realizada em qualquer época do ano. A floração e frutificação demonstraram padrões sazonais, com período mais favorável para coleta de sementes entre os meses de outubro e dezembro.

REFERÊNCIAS

ALVES, I. J. *et al.* Fenologia reprodutiva e vegetativa de três espécies ocorrentes em uma área de restinga urbana em Salvador, Bahia, Brasil. **Hoehnea**, v. 48, p. e722020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-72/2020>.

ARAÚJO, G. M. **Caracterização da morfoanatomia, fenologia e composição química do óleo essencial de *Aloysia hatschbachii* (Verbenaceae)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Rio Grande do Sul, 2020.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Brazilian Journal of Botany*, v. 25, p. 269-275, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000300003>.

BISPO, G. L. *et al.* Fenologia vegetativa e reprodutiva da espécie nativa *Vasconcellea quercifolia* A. St.-hil. em um fragmento de floresta. **Revista Principia**, v. 61, n. 2, p. 454-468, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.18265/1517-0306a2022id6984>.

CAMPELO, M. F. *et al.* Reproductive phenology of *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppins & F. Leal. and its correlation with average temperature and rainfall. **Research, Society and Development**, 10(5), e7010514621, 2021. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38261>.

COSTA, A. S.; LAMEIRA, O. A. Avaliação do comportamento fenológico da *Copaifera martii* (Hayne) com dados climáticos em Floresta Secundária. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e41810917973-e41810917973, 2021. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17973>.

COSTA, P. S. *et al.* Atividade antimicrobiana e potencial terapêutico do gênero *Lippia* sensu lato (Verbenaceae). **Hoehnea**, 44(2): 158-171, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-68/2016>.

CRUZ, F. R. S. *et al.* Fenologia de *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) TD Penn. em área de Caatinga, Boa Vista-PB. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 653-672, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509844038>.

CNCFlora. 2022. ***Lippia insignis* in Lista Vermelha da flora brasileira**. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/ptbr/profile/Lippia%20insignis>. Acesso em 25 set. 2024.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v.24, n.4, p.422-3,1974.

LUBKE, L.; CORRÊA, B. J. S.; FILIPPI, M. Fenofases vegetativas e reprodutivas de *Trema micrantha* (L.) Blume no sudoeste do estado do Paraná. **Ciencia Florestal**, v. 31, n. 2, p. 863-879, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831766>.

MORELLATO, L. P. C., *et al.* Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, v.195, páginas 60-72, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>.

NOGUEIRA, G. S. *et al.* The phenology of *Ligustrum lucidum* (Oleaceae): climatic niche conservatism as an important driver of species invasion in Araucaria Forest. **Biological Invasions**, 22, 2975–2987, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02302-9>.

PEREIRA, J. C. *et al.* Espécies medicinais do Brasil com potencial anti-inflamatório ou antioxidante: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e10310716196-e10310716196, 2021.

ROCHA, T. G. F. *et al.* Fenologia da *Copernicia prunifera* (Arecaceae) em uma área de caatinga do Rio Grande do Norte. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 673-681, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201521041758>.

ROCHA, M. C. A. L; OLIVEIRA, L M. **Estudo ecogeográfico, fenologia, crescimento e produção de *Lippia lasiocalycina* Cham. (Verbenaceae)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Feira de Santana- BA, 2025.

RODRIGUES, D. W.; OLIVEIRA, J. A. S. Óleos essenciais de *Piper* L.(Piperaceae) e sua aplicação biotecnológica na agricultura: uma revisão da literatura. **Arquivos do Mundi**, v. 25,

n. 2, p. 100-110, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v25i2.60107>.

SALIMENA, F.R.G.; CARDOSO, P.H. *Lippia in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15170>>. Acesso em 10 jan. 2025.

SANTANA, S. R.; GOMES, R. S. Propriedades Fitoquímicas e Perspectivas do Melhoramento Genético de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek: Revisão de Literatura. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 3, p. 353-359, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2022v26n3p353-359>.

SANTOS, D. R. *et al.* Insecticidal activity of essential oils of species from the genus *Lippia* against *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae). **Sociobiology**. 67(2): 292-300, June, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i2.4992>.

SANTOS, M. A. *et al.* Phenology and fruit biometrics in different positions of reproductive branches of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. **Revista de Ciências Agrárias**, 43(1): 39-5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.18153>.

SELLIN, A. *et al.* Humidity-driven changes in growth rate, photosynthetic capacity, hydraulic properties and other functional traits in silver birch (*Betula pendula*). **Ecological Research**, 28(3):523-535, 2013. Disponível em: DOI 10.1007/s11284-013-1041-1.

SOARES, M. P. *et al.* Fenologia de *Annona coriacea* Mart. (Annonaceae) em um Fragmento de Cerrado Senso Stricto em Rio Verde, Goiás (Nota Científica). **Revista do Instituto Florestal**, v. 25 n. 1 p. 107-113 jun. 2013. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2013251423>.

TAIZ, L. *et al.* **Fundamentos de fisiologia vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artimed, 2021. 1302p.

TRINDADE, S. C. *et al.* Atividade antimicrobiana dos extratos metanólicos de diferentes espécies do gênero *Lippia*. **Research, Society and Development**, v.10, n.9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18051>.

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Lippia insignis* Moldenke (VERBENACEAE) NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE FEIRA DE SANTANA, BAHIA

RESUMO

O gênero *Lippia* (Verbenaceae) compreende cerca de 200 espécies distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais. Este gênero apresenta grande importância devido ao uso na medicina popular e elevado potencial medicinal, com atividades anti-inflamatória, antipirética, antisséptico, anticancerígena. Contudo, muitas dessas espécies estão sob risco de extinção devido às ações antrópicas e alterações nos habitats, a exemplo de *Lippia insignis* Moldenke, arbusto endêmico do estado da Bahia. Diante desta ameaça, ações nas áreas de conservação e cultivo são urgentes, buscando preservar esse importante recurso genético. Para tanto, conhecer a influência da sazonalidade sobre o crescimento e, principalmente, o metabolismo secundário de plantas, tem grande significado. Este estudo teve como objetivo identificar o efeito da sazonalidade sobre o crescimento e produção de *Lippia insignis* Moldenke nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia. O experimento foi conduzido na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UNEHF/UEFS), em delineamento experimental blocos casualizados, contando com quatro blocos, sendo distribuídas 24 plantas em fileira dupla por bloco. A cada mês, duas plantas foram colhidas por bloco para as análises de crescimento e produção. Os dados climáticos foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia e com base nas coordenadas geográficas do Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. Foram avaliados a altura das plantas (ALT) (m), diâmetro do caule (DCL) (mm), diâmetro da copa (DC) (m), massa (g) seca de caule (MSC), flores (MSFL) e folhas (MSF), massa seca total (MST) (g), área foliar total (AFT) (cm²), teor (TO) (%) e rendimento de óleo por planta (ROP) (g planta⁻¹), com auxílio de fita métrica, paquímetro e balança analítica. Foram realizadas análises descritivas e calculados os coeficientes de correlação Sperman em relação aos fatores climáticos. As variáveis climáticas influenciaram os parâmetros de crescimento de *Lippia insignis* Moldenke, com exceção do número de perfilhos, massa seca do caule e massa seca da flor. A produção de biomassa e óleo essencial foram reduzidos em períodos de temperaturas mais elevadas e menor disponibilidade hídrica, a exemplo dos meses de outubro e abril. Assim, estes resultados permitem orientar estratégias de cultivo e manejo, contribuindo para a exploração sustentável e conservação da espécie.

Palavras-chave: Plantas medicinais e aromáticas; Cultivo; Sazonalidade; Óleos essenciais.

ABSTRACT

The genus *Lippia* (Verbenaceae) comprises approximately 200 species distributed across tropical and subtropical regions. This genus holds great importance due to its use in traditional medicine and high medicinal potential, exhibiting anti-inflammatory, antipyretic, antiseptic, and anticancer activities. However, many of these species are at risk of extinction due to human activities and habitat changes, such as *Lippia insignis* Moldenke, a shrub endemic to the state of Bahia. In light of this threat, urgent actions in the areas of conservation and cultivation are needed to preserve this important genetic resource. Therefore, understanding the influence of seasonality on plant growth and, especially, on secondary metabolism is highly significant. This study aimed to identify the effect of seasonality on the growth and production of *Lippia insignis* Moldenke under the climatic conditions of Feira de Santana, Bahia. The experiment was conducted at the Experimental Unit of the Forest Garden of the State University of Feira de Santana (UNEHF/UEFS), using a randomized block design with four blocks. In each block, 24 plants were arranged in a double-row formation. Each month, two plants per block were harvested for growth and production analyses. Climatic data were obtained from the National Institute of Meteorology and based on the geographic coordinates provided by the Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. The following variables were evaluated: plant height (ALT) (m), stem diameter (DCL) (mm), canopy diameter (DC) (m), dry mass of stem (MSC), flowers (MSFL), and leaves (MSF), total dry mass (MST) (g), total leaf area (AFT) (cm²), oil content (TO) (%), and oil yield per plant (ROP) (g plant⁻¹), using a measuring tape, caliper, and analytical balance. Descriptive analyses were performed and Spearman correlation coefficients were calculated in relation to climatic factors. Climatic variables influenced the growth parameters of *Lippia insignis* Moldenke, with the exception of the number of tillers, stem dry mass, and flower dry mass. Biomass and essential oil production were reduced during periods of higher temperatures and lower water availability, such as in the months of October and April. These results thus provide guidance for cultivation and management strategies, contributing to the sustainable use and conservation of the species.

Keywords: Medicinal and aromatic plants; Cultivation; Seasonality; Essential oils.

2.1 INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro é considerado uma das regiões com maior biodiversidade do país (Silva *et al.*, 2023). Em sua extensão, ocorrem inúmeras espécies vegetais com elevado potencial para a produção de compostos bioativos, com aplicações promissoras nos setores farmacêutico, alimentício e cosmético (Pereira *et al.*, 2021).

O gênero *Lippia* Linn. (Verbenaceae) abrange cerca de 200 espécies de ervas, arbustos e pequenas árvores amplamente distribuídas em regiões tropicais e subtropicais (Salimena; Cardoso, 2020). No Brasil, estima-se a ocorrência de aproximadamente 120 espécies, predominantemente nos biomas Cerrado e Caatinga (Costa *et al.*, 2017). Este gênero inclui espécies tradicionalmente utilizadas na medicina popular, em razão das propriedades terapêuticas associadas à produção de metabólitos secundários, especialmente os óleos essenciais (Santana; Gomes, 2022). Esses compostos apresentam diversas atividades biológicas, como ação antiespasmódica (Pascual *et al.*, 2001), sedativa (Pascual *et al.*, 2001), anti-inflamatória (Pascual *et al.*, 2001; Soares; Dias, 2013), antimicrobiana (Gomes *et al.*, 2011; Soares; Dias, 2013), anticancerígena (Raman *et al.*, 2018) e antioxidante (Mar *et al.*, 2018).

Embora possuam grande importância farmacológica, muitas espécies do gênero encontram-se sob risco de extinção, devido à destruição de habitats e ao uso intensivo de seus recursos (CNCFlora, 2025). Entre essas espécies, destaca-se *Lippia insignis* Moldenke, um arbusto aromático de até três metros de altura, nativo e endêmico dos campos rupestres da Chapada Diamantina, no estado da Bahia. A espécie apresenta propriedades medicinais relevantes (Santos *et al.*, 2020; Trindade *et al.*, 2021), com potencial aplicação tanto na indústria farmacêutica quanto no manejo integrado de pragas (Araújo, 2020). No entanto, *L. insignis* encontra-se atualmente classificada como vulnerável, em decorrência de pressões antrópicas sobre seu ambiente natural (CNCFlora, 2022). Ademais, os estudos científicos envolvendo essa espécie ainda são incipientes, especialmente no que se refere à domesticação e cultivo, bem como acerca da influência de fatores sazonais sobre as características agronômicas da espécie (Tavares *et al.*, 2005).

As variações sazonais são determinantes no desenvolvimento de espécies medicinais, influenciando diretamente no crescimento vegetativo, no acúmulo de biomassa e na produção de metabólitos secundários, como os óleos essenciais. Fatores ambientais, como temperatura, precipitação e fotoperíodo têm impacto direto na fisiologia das plantas e, consequentemente, na

qualidade e quantidade dos compostos bioativos produzidos (Silva *et al.*, 2015). Prochnow (2015), ao estudar *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton, verificou que a estação do ano influenciou significativamente o crescimento vegetativo e a produção de óleo essencial da espécie, com os melhores resultados observados durante o verão.

De modo semelhante, Germano *et al.* (2022), ao estudarem a influência da sazonalidade sobre a produção de óleos essenciais de *Lippia dulcis* Trevir., constataram que variações nos níveis de temperatura e precipitação afetaram diretamente o teor e a composição química do óleo essencial. Sakyamah *et al.* (2024) demonstraram que as variações climáticas ao longo das estações podem interferir na produção de compostos secundários de *Lippia multiflora* Moldenke, concluindo que a concentração desses compostos bioativos variou significativamente ao longo do ano, sendo a estação chuvosa o período mais favorável à colheita para maximização dos constituintes fitoquímicos. Analisando as alterações sazonais de metabólitos não voláteis de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson, Scabini (2024) verificou que a produção dos principais compostos ativos da espécie variou em função da baixa temperatura e elevada precipitação, resultando no aumento desses compostos sob estas condições. O mesmo autor também observou que a idade das plantas influenciou a produção desses compostos, com redução significativa nas plantas mais velhas.

Nesse sentido, torna-se evidente a importância de se compreender como a sazonalidade afeta o crescimento e a produção de metabólitos secundários em plantas medicinais. Tal conhecimento é essencial para subsidiar estratégias de manejo sustentável, otimizar a colheita e orientar práticas de cultivo, como adubação, poda e aplicação de defensivos. Assim, este estudo teve como objetivo identificar a influência da sazonalidade sobre o crescimento e a produção de óleo essencial da espécie *Lippia insignis* Moldenke nas condições climáticas de Feira de Santana, Bahia.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local de cultivo

O experimento foi conduzido na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UNEHF/UEFS), no município de Feira de Santana, Bahia, localizado entre as coordenadas 12° 15' 24" S e 37° 57' 53" W.

2.2.2 Propagação da espécie

A produção de mudas foi realizada pelo método de estaquia. As plantas matrizes foram provenientes da Coleção de Plantas Medicinais pertencente a UNEHF/UEFS. A propagação foi realizada a partir de estacas apicais com aproximadamente 10 cm de comprimento, plantadas em copos descartáveis de 200 ml preenchidos com substrato comercial Tropstrato®. As plantas permaneceram nesses recipientes por 45 dias, sendo irrigadas manualmente duas vezes ao dia até o plantio definitivo. Quando atingiram aproximadamente 20 cm de altura foram levadas para o local definitivo, onde foram transplantadas em covas com 30 x 30 x 30 cm, adubadas com esterco bovino curtido na proporção de 1 litro por cova, com espaçamento de 1 metro entre plantas (Figura 1). O experimento foi realizado em delineamento blocos casualizados, com quatro blocos. Em cada bloco foram distribuídas 24 plantas em fileira dupla, totalizando 96 plantas.

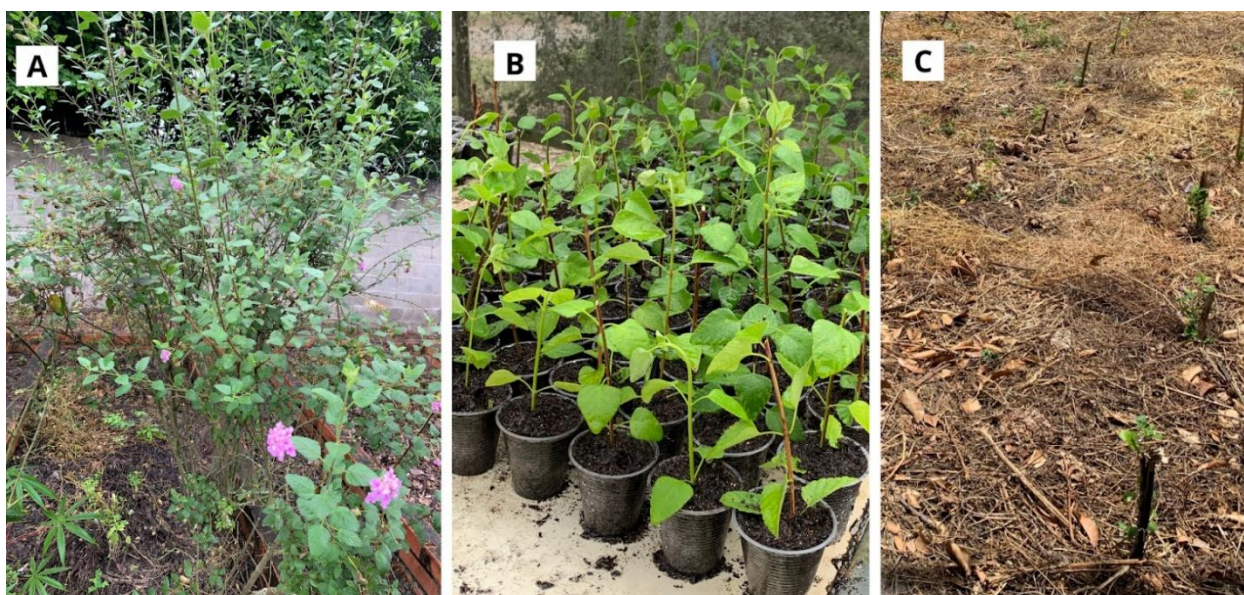


Figura 1. (A) Planta matriz da Coleção de Plantas Medicinais; (B) Estacas cultivadas em copo plástico; (C) Mudas de *Lippia insignis* Moldenke transplantadas no campo. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora).

2.2.3 Avaliação de crescimento e produção de óleo essencial

As avaliações de crescimento foram realizadas mensalmente, no período de maio de 2024 a abril de 2025 (12 meses), iniciando-se após 90 dias de transplantio, quando as plantas já haviam atingido a fase de floração (Figura 2A). A cada mês, duas plantas foram colhidas por blocos para as análises de crescimento e produção de óleo essencial. Foram avaliados os parâmetros: altura das plantas (ALT) (m) e diâmetro da copa (DC) (m) com auxílio de fita métrica (Figura 2B e

Figura 2E), diâmetro do caule (DCL) (mm), com auxílio de um paquímetro (Figura 2C), número de perfilhos (Figura 2D), massa (g) seca de caule (MSC), flores (MSFL) e folhas (MSF), massa seca total (MST) (g) (Figura 2F), teor (TO) (%), rendimento de óleo por planta (ROP) (g planta⁻¹), por meio de balança analítica (Figura 2K) e área foliar total (AFT) (cm²) com auxílio de um medidor de área (Figura 2H).

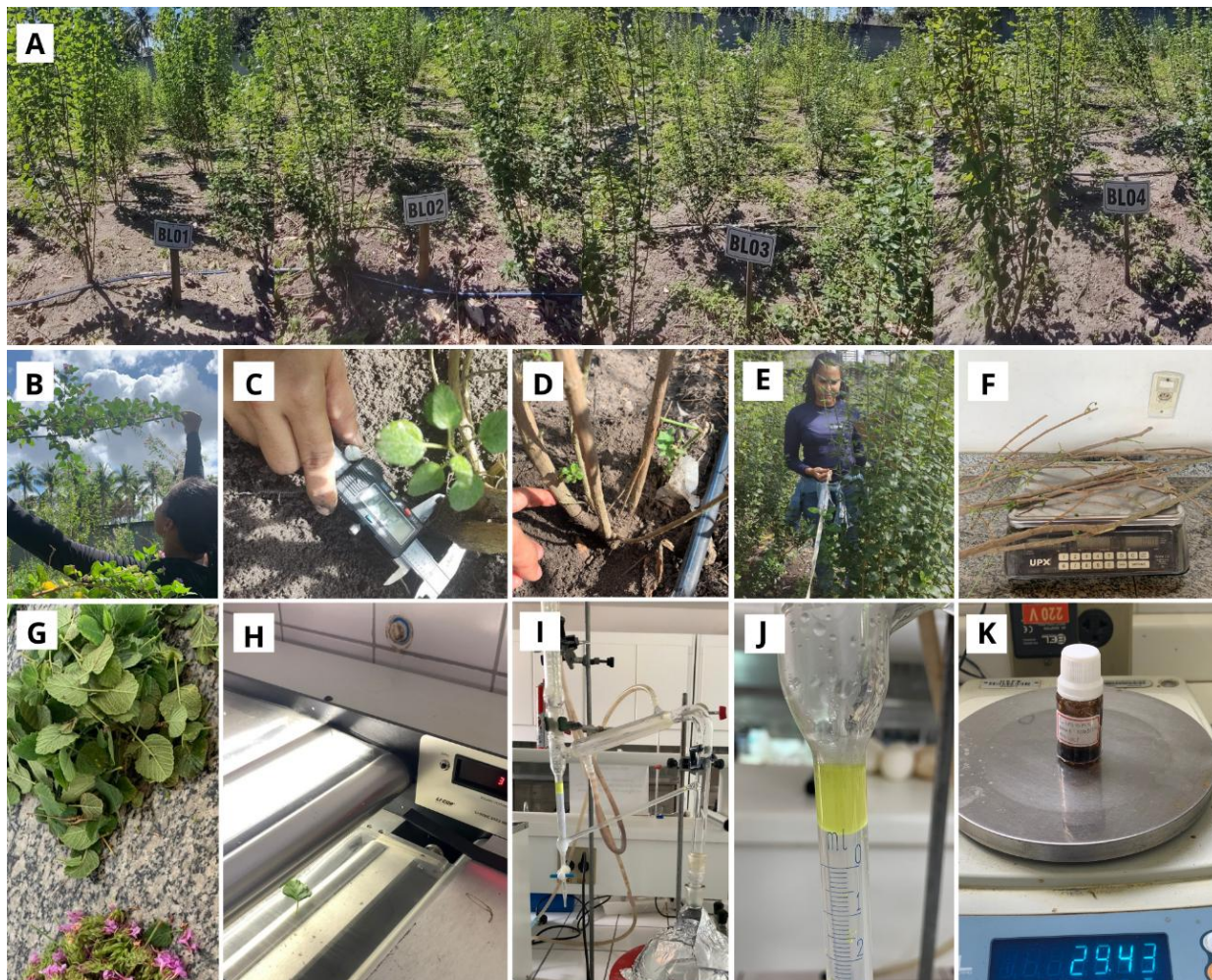


Figura 2. Parâmetros de crescimento e extração de óleo essencial de *Lippia insignis* Moldenke. (A) Plantas de *Lippia insignis* Moldenke cultivadas; (B) Medição da altura; (C) Medição do diâmetro do caule; (D) Contagem do número de perfilho; (E) Medição do diâmetro da copa; (F) Caule; (G) Folhas e flores (H) Medição da área foliar; (I) Aparelho de Clevenger; (J) Óleo essencial extraído de 100 g de folhas; (K) Pesagem do óleo armazenado e identificado. Feira de Santana, Bahia. (Fonte: autora).

Após a coleta e separação das partes das plantas, o material vegetal foi pesado para determinação da média da massa fresca e, em seguida, as folhas foram submetidas à secagem natural à sombra, para posterior extração do óleo essencial. A massa seca de folhas e caules foi determinada a partir de seis subamostras, sendo cada subamostra compostas por 10 folhas de diferentes tamanhos e 10 pedaços de galhos (10 a 15 cm), com diâmetros variados. As subamostras foram pesadas para determinação da massa fresca e em seguida levadas à estufa com circulação de ar forçada a 60 °C, até atingirem peso constante e, posteriormente, pesadas em balança analítica digital. A média do peso seco obtido das subamostras foi utilizada para estimar a massa seca total de folhas e caules por planta, com base no peso fresco total das folhas e caules de cada planta. A partir das subamostras das folhas também foi quantificado a área foliar (cm²) utilizando um medidor de área modelo LI-3100C, e as médias foram utilizadas para estimar a área foliar total da planta, com base no peso seco de folhas.

A extração do óleo essencial foi realizada em quadruplicada, pelo processo de hidrodestilação em aparelho de Clevenger, no Laboratório de Produtos Naturais da UEFS. Para cada extração utilizou-se 100g de matéria seca, em 1750 ml de água destilada, durante 2 horas. Após a extração, o óleo foi separado da água residual e os resíduos de água foram removidos com sulfato de sódio anidro. O teor dos óleos essenciais foi determinado pelas massas dos óleos, quantificado em balança analítica, e expresso em porcentagem (g de óleo/100 g de matéria seca). O rendimento de óleo por planta (g planta⁻¹) foi calculado a partir da multiplicação da massa de óleo obtido em 100 gramas de folha pela massa seca total de folhas e dividindo o resultado por 100, sendo expresso em g planta⁻¹.

2.2.4 Obtenção de dados climáticos

Os dados mensais de precipitação total (mm), temperatura média (°C), radiação (Kj m⁻²) e umidade relativa do ar (%), foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<https://portal.inmet.gov.br/>). Os dados referentes ao fotoperíodo foram obtidos com base nas coordenadas geográficas do Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory (https://aa.usno.navy.mil/data/RS_OneYear).

2.2.5 Análise estatística

Para observar o comportamento dos dados foram calculadas medidas descritivas como a média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, além dos valores máximos e mínimos.

Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk com o objetivo de verificar a normalidade dos dados. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal foi realizado o teste de análise de variância (ANOVA) para identificar diferenças significativas ao longo dos meses de cultivo. No caso das variáveis que não atenderam ao critério de normalidade dos dados ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de Friedman, seguido do teste post-hoc de Nemenyi. Além disso, devido à ausência de normalidade dos dados, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman e suas significâncias em relação às variáveis ambientais. As análises foram realizadas no programa estatístico R, versão 4.2.3 (R Core Team, 2023).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise estatística descritiva das variáveis ambientais (Tabela 1), a maioria dos dados obtidos apresentou distribuição normal, com exceção da precipitação, que não atendeu ao critério de normalidade ($p < 0,05$) e demonstrou maior coeficiente de variação, o que reflete a distribuição hídrica irregular observada durante o período de avaliação.

Tabela 1. Análise descritiva com valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV %) e teste de normalidade para as variáveis, temperatura (°C), umidade relativa (%), precipitação (mm), radiação (Kj/m²) e fotoperíodo (h/dia) referentes ao período de maio de 2024 a abril de 2025. Feira de Santana, Bahia.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	CV (%)	Teste de normalidade
Precipitação (mm)	5,2000	139,8000	41,9800	38,2081	32,5000	91,0150	0,0183*
Temperatura (°C)	22,7800	28,4500	25,7200	2,1230	26,7200	8,2543	0,1114 ^{ns}
Umidade relativa (%)	68,4600	87,6100	77,7200	5,4697	75,8300	7,0377	0,2426 ^{ns}
Fotoperíodo (h/dia)	11,4200	12,8300	12,0500	1823,222	11,9300	4,2000	0,2539 ^{ns}
Radiação (Kj/m ²)	557,3000	794,0000	674,7000	84,8060	655,8000	12,5694	0,1864 ^{ns}

ns = não significativo pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância. * = significativo pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância.

Durante o período de avaliação, a temperatura média variou entre 22,78 °C e 28,46 °C, correspondendo aos meses de julho e dezembro, respectivamente. Em relação à precipitação, o mês de dezembro apresentou menor disponibilidade hídrica, com volume de 5,2 mm e máxima registrada no mês de janeiro (139,8 mm). A umidade relativa do ar oscilou entre 68,46% em dezembro e 87,61% no mês de junho. A radiação atingiu 794,014986 kJ/m² no mês de fevereiro,

enquanto o mínimo ocorreu em agosto, com 557,3117 kJ/m², refletindo a menor intensidade de energia solar. Já o fotoperíodo variou entre 11:24:50 h em junho e 12:49:46 h de luz por dia no mês de dezembro (Figura 3).

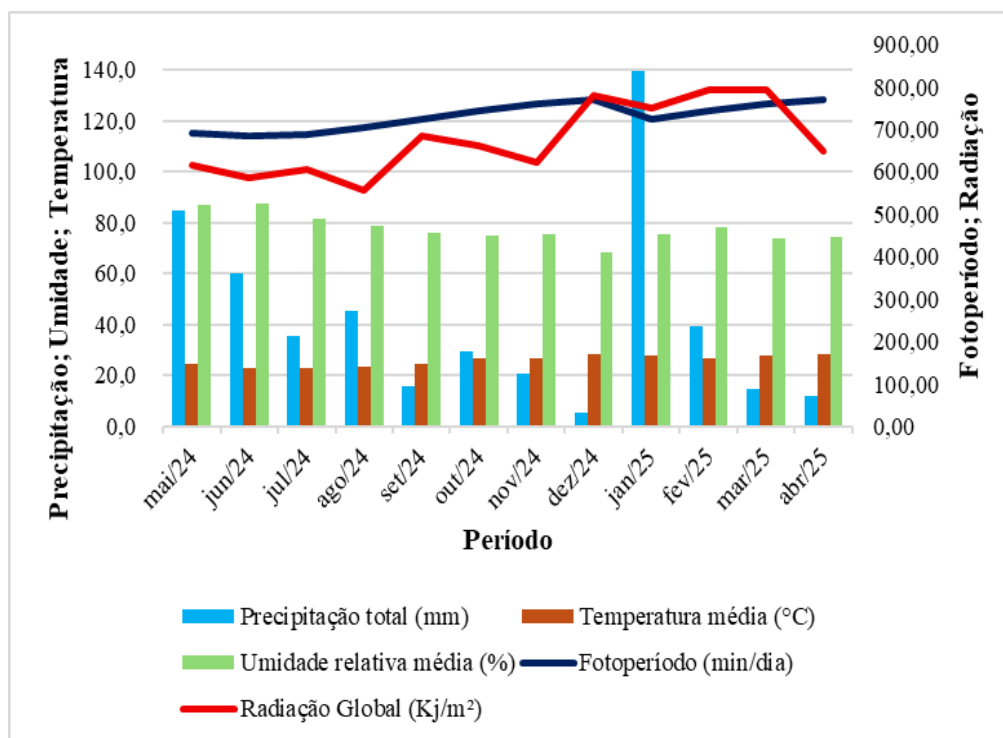


Figura 3. Dados mensais de precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), radiação global (Kj/m²) e fotoperíodo (min/dia) no período de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

A análise descritiva dos parâmetros de crescimento de *L. insignis* demonstrou elevada variabilidade, principalmente para massa seca das flores (MSFL), com alto valor de coeficiente de variação (Tabela 2). O rendimento de óleo por planta (ROP) também variou bastante, com valores mínimos de 0,230 g planta⁻¹ e máximos de 3,350 g planta⁻¹, com média anual de 1,261 g planta⁻¹. A área foliar total (AFT) apresentou valores entre 2494,00 cm² e 23165,00 cm² ao longo do período analisado, demonstrando que esses parâmetros são afetados por diversos fatores. A altura média das plantas foi de 2,79 m, variando entre 1,87 m e 3,79 e baixo coeficiente de variação, indicando maior homogeneidade dos dados, sendo este fator relevante para o manejo e planejamento do espaçamento. É importante destacar que, geralmente, dados biológicos apresentam elevado coeficiente de variação, por conta da influência e interações ambientais (Nepomuceno *et al.*, 2021).

Tabela 2. Análise descritiva das variáveis área foliar total (AFT) (cm²), altura (ALT) (m), diâmetro do caule (DCL)(mm), número de perfilho (PERF), diâmetro da copa (DC) (m), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da flor (MSFL) (g), massa seca total (MST) (g), teor de óleo essencial (TO) (%) e rendimento de óleo essencial por planta (ROP) (g planta⁻¹) de *Lippia insignis* Moldenke cultivada de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	CV (%)	Teste de normalidade
AFT	2494,000	23165,000	8058,000	4241,949	7225,000	52,643	0,0001*
ALT	1,870	3,794	2,794	0,350	2,795	0,013	0,1304 ^{ns}
DCL	14,300	43,260	30,700	6,097	30,260	19,860	0,8503 ^{ns}
PERF	2,000	5,000	3,125	0,726	3,000	23,222	0,0002*
DC	0,680	2,475	1,391	0,368	1,347	26,427	0,0527 ^{ns}
MSF	42,080	257,410	104,010	46,875	87,450	45,068	0,0008*
MSC	29,660	460,610	240,440	116,090	245,160	48,282	0,2287 ^{ns}
MSFL	0,000	29,000	5,438	7,125	1,032	131,026	0,0000*
MST	117,300	634,600	349,900	113,730	361,400	32,504	0,307 ^{ns}
TO	0,400	2,020	1,174	0,405	1,180	34,497	0,480 ^{ns}
ROP	0,230	3,350	1,261	0,790	1,045	62,649	0,0001*

ns = não significativo pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância. * = significativo pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância.

Analisando os parâmetros de crescimento mensalmente verificou-se que a área foliar total (AFT), diâmetro do caule (DCL), massa seca da folha (MSF), e flor (MSFL), teor (TO) e rendimento de óleo por planta (ROP) variaram significativamente durante o período de observação (Tabela 3). AFT foi maior nos meses de maio e junho, coincidindo com o período em que houve maior disponibilidade hídrica e temperaturas mais amenas e, diferiu estatisticamente dos meses de outubro e novembro. A MSF seguiu uma tendência semelhante à AFT, com maior acúmulo em junho e redução acentuada em outubro, meses que diferiram estatisticamente entre si. O período de maior acúmulo de biomassa coincidiu com meses de alta precipitação e umidade relativa, sugerindo que essas condições favorecem o aumento da biomassa foliar para a espécie.

A MSFL foi maior no mês de novembro e diferiu significativamente dos menores valores, observados em março, outubro e dezembro, quando os indivíduos não apresentaram produção floral. O DCL foi menor em julho, diferindo do mês de outubro, período em que a espécie apresentou maior DCL e menor área foliar, massa seca das folhas e nenhuma produção floral. Este comportamento pode estar associado a uma estratégia de adaptação e aclimação das espécies vegetais aos diferentes ambientes de crescimento, onde em ambientes secos a prioridade é raízes profundas e caules robustos, ao passo que o crescimento foliar é limitado, visando a redução da perda de água. Em ambientes úmidos as plantas investem no aumento da área e

biomassa foliar para maximizar a captura da luz (Markesteyjn; Poorter, 2009). O TO variou ao longo do período analisado, sendo maior no mês de agosto, diferindo estatisticamente dos meses fevereiro, março e abril. O ROP teve média maior no mês de junho, porém diferiu somente do mês de abril.

Tabela 3. Teste de médias para diâmetro do caule (DCL) (mm) e teor de óleo essencial (TO) (%), massa seca total (MST) (g) e teste de Friedman com post-hoc em Nemenyi-Test para área foliar total (AFT) (cm²), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca da flor (MSFL) (g) e rendimento de óleo por planta (ROP) (g planta⁻¹) de *Lippia insignis* Moldenke cultivada de maio de 2024 a abril de 2025, nas condições de Feira de Santana, Bahia.

Mês	AFT (cm ²)	DCL (mm) *	MSF (g)	MSFL (g)	TO (%)	ROP (g planta ⁻¹)
Mai	12611,67 a	25,99 ab	138,15 ab	9,18 ab	1,49 ab	2,01 ab
Jun	16153,45 a	27,89 ab	176,60 a	8,30 ab	1,33 abc	2,39 a
Jul	6636,70 ab	24,75 b	78,50 ab	7,54 ab	1,25 abcd	0,97 ab
Ago	8215,38 ab	31,53 ab	110,54 ab	13,39 ab	1,53 a	1,65 ab
Set	8901,08 ab	31,32 ab	136,80 ab	18,59 ab	1,52 ab	2,08 ab
Out	3801,51 b	37,82 a	64,14 b	0 b	1,28 abcd	0,81 ab
Nov	4232,14 b	34 ab	74,16 ab	36,57 a	1,14 abcd	0,88 ab
Dez	6263,19 ab	29,56 ab	75,64 ab	0 b	0,9 abcd	0,72 ab
Jan	7725,65 ab	33,63 ab	89,48 ab	34,49 ab	1,51 ab	1,40 ab
Fev	6446,74 ab	33,05 ab	94,85 ab	11,31 ab	0,82 bcd	0,77 ab
Mar	9768,09 ab	31,24 ab	136,75 ab	0 b	0,74 cd	0,99 ab
Abr	6040,32 ab	27,68 ab	72,55 ab	9,93 ab	0,61 d	0,44 b

letras iguais na coluna não diferem entre si ($p > 0,05$). * significativo ao nível de 10% ($0,05 < p < 0,10$).

De acordo com a análise de correlação realizada entre os parâmetros de crescimento e variáveis ambientais (Figura 4) foram identificadas correlações significativas entre temperatura e rendimento de óleo por planta; fotoperíodo e altura, diâmetro do caule e área foliar total; radiação e diâmetro do caule; precipitação e massa seca total, teor de óleo e rendimento de óleo por planta; umidade e massa seca foliar e rendimento de óleo por planta. Para os parâmetros número de perfilho, massa seca do caule e massa seca da flor não foram identificadas correlações significativas com as variáveis ambientais ($p > 0,05$).

A altura e o diâmetro do caule apresentaram correlação positiva com fotoperíodo (Figura 4 e Figura 5). Essa resposta pode ser atribuída à atuação dos pigmentos sensíveis à luz, conhecidos como fotorreceptores, que são responsáveis pela percepção dos sinais luminosos e pela regulação dos processos de fotomorfogênese e atuam como mediadores entre os sinais ambientais e os processos fisiológicos, modulando o crescimento estrutural da planta em resposta ao fotoperíodo (Taiz *et al.*, 2021).

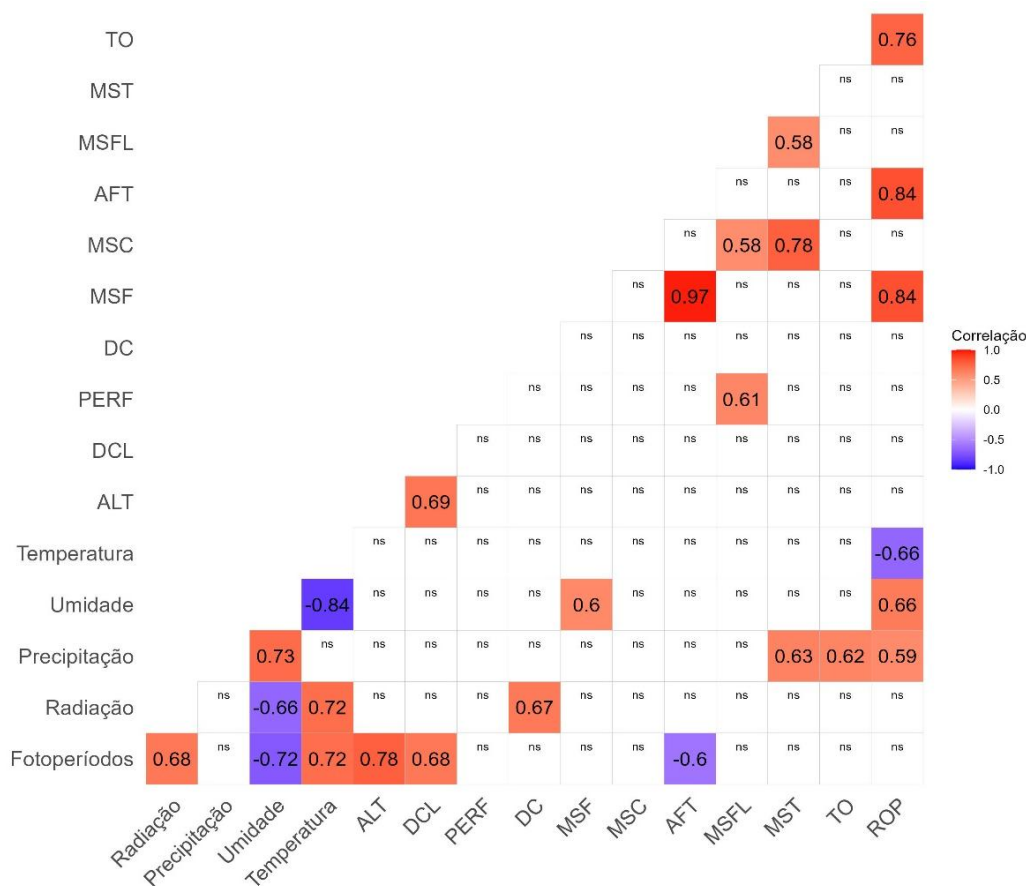


Figura 4. Coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis precipitação total (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), radiação global (Kj/m²), fotoperíodo (min/dia) e os parâmetros área foliar total (AFT), altura (ALT) (m), diâmetro do caule (DCL) (mm), número de perfilho (PERF), diâmetro da copa (DC) (m), massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da flor (MSFL) (g), massa seca total (MST) (g), teor de óleo essencial (TO) (%) e rendimento de óleo essencial por planta (ROP) (g planta⁻¹) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil. ns = correlação não significativa (p>0,05).

A resposta das plantas a diferentes comprimentos do dia influencia significativamente seu crescimento, sendo esta relação impulsionada, principalmente, pela fotossíntese, processo no qual as plantas capturam energia luminosa para a assimilação de CO₂, produzindo fotoassimilados fundamentais para sustentação do crescimento vegetal (Wu *et al.*, 2024). Nesse contexto, Torres e Lopez (2011) observaram que as condições de fotoperíodos mais longos favoreceram o alargamento do caule de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. Resultado semelhante foi obtido por Xu *et al.* (2020), ao analisarem o efeito do fotoperíodo e qualidade de luz no crescimento *in vitro* de *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. Da mesma forma, Wu *et al.* (2024), estudando o

efeito do fotoperíodo no crescimento de mudas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), identificaram que o maior comprimento do dia promoveu aumentos tanto na altura quanto no diâmetro do caule da espécie.

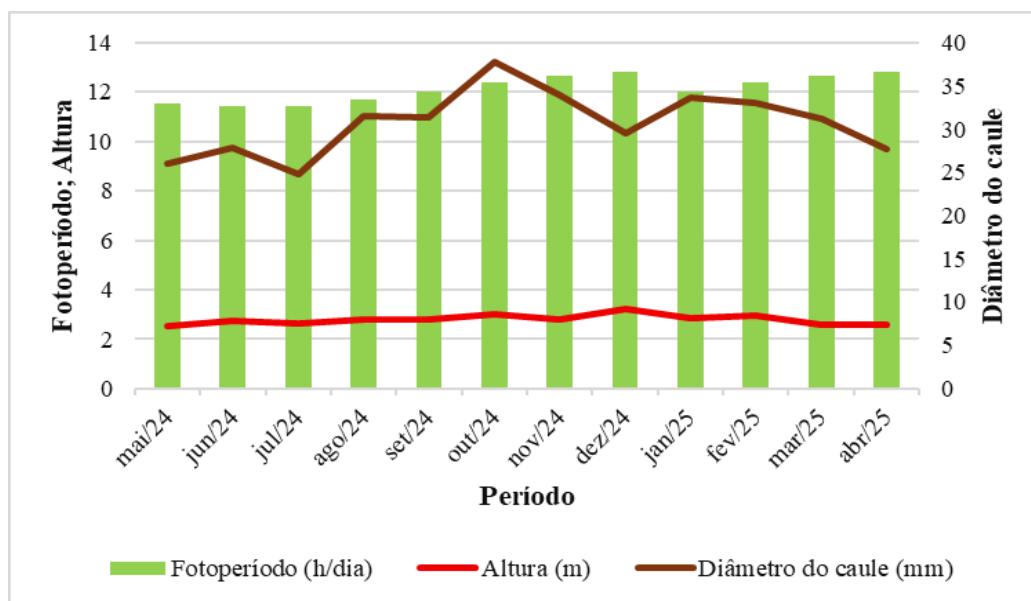


Figura 5. Relação entre o fotoperíodo (h/dia), altura (m) e diâmetro do caule da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

O diâmetro da copa teve correlação positiva com a radiação (Figura 4 e Figura 6). A intensidade e a qualidade da radiação solar são fatores determinantes para o crescimento das plantas, influenciando diretamente as variações morfoanatômicas (Gomes *et al.*, 2008). Além disso, a estrutura da copa desempenha um papel fundamental na interceptação da energia solar, e o aumento da intensidade luminosa promove o incremento da taxa fotossintética, produzindo fotoassimilados suficientes para atender aos processos fisiológicos, bioquímicos e estruturais da planta (Taiz *et al.*, 2021).

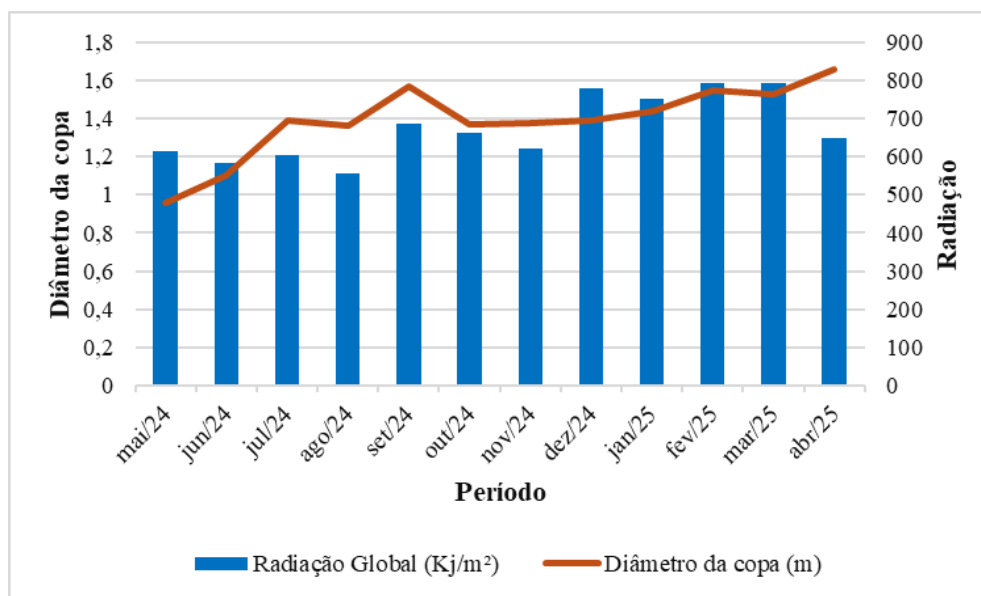


Figura 6. Relação entre radiação (Kj/m²) e diâmetro da copa (m) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

Verificou-se correlação positiva entre a massa seca foliar e umidade relativa do ar (Figura 4 e Figura 7). Esta condição pode ser atribuída à influência que a umidade exerce sobre o balanço hídrico e os processos fisiológicos das plantas (Chia; Lim, 2022). A alta umidade favorece a abertura dos estômatos, possibilitando maior absorção de CO₂, consequentemente, maior eficiência fotossintética e produção de biomassa foliar (Taiz *et al.*, 2021).

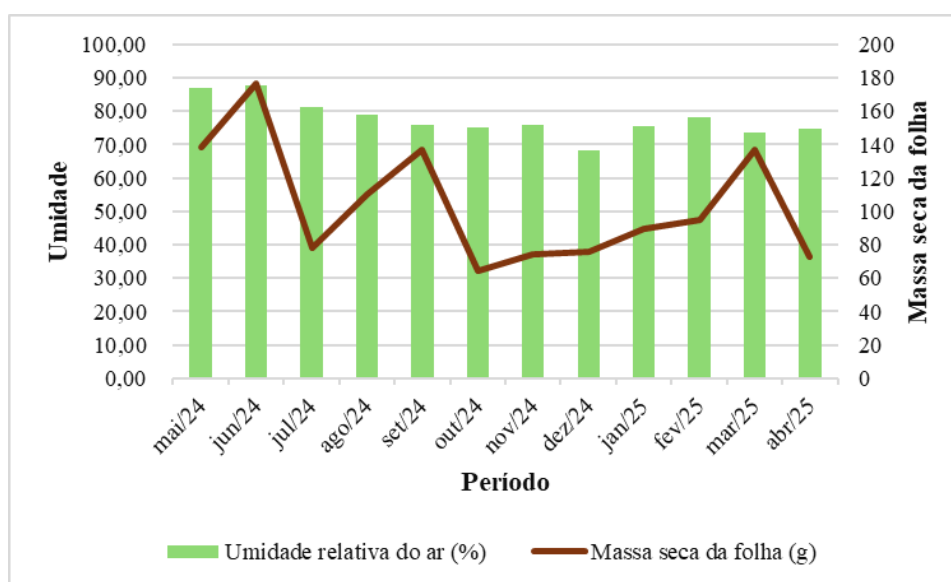


Figura 7. Relação entre umidade relativa do ar (%) e massa seca das folhas (g) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

A área foliar total apresentou correlação negativa com o fotoperíodo (Figura 4 e Figura 8). O aumento da área foliar em plantas expostas a fotoperíodo mais curto é um mecanismo morfológico para maximizar a captação da luminosidade disponível, otimizando o aproveitamento da energia luminosa, consequentemente, favorecendo processos fotossintéticos e a conversão em biomassa (Christoph *et al.*, 2017; Ren; Weraduwage; Sharkey, 2019). Esse comportamento foi descrito por Kang *et al.* (2013), ao estudar a espécie *Lactuca sativa* L., constataram que o fotoperíodo mais curto promoveu a maior área foliar. Dessa forma, menores comprimentos do dia podem induzir incrementos na expansão foliar como estratégia para otimizar a fotossíntese (Taiz *et al.* 2021).

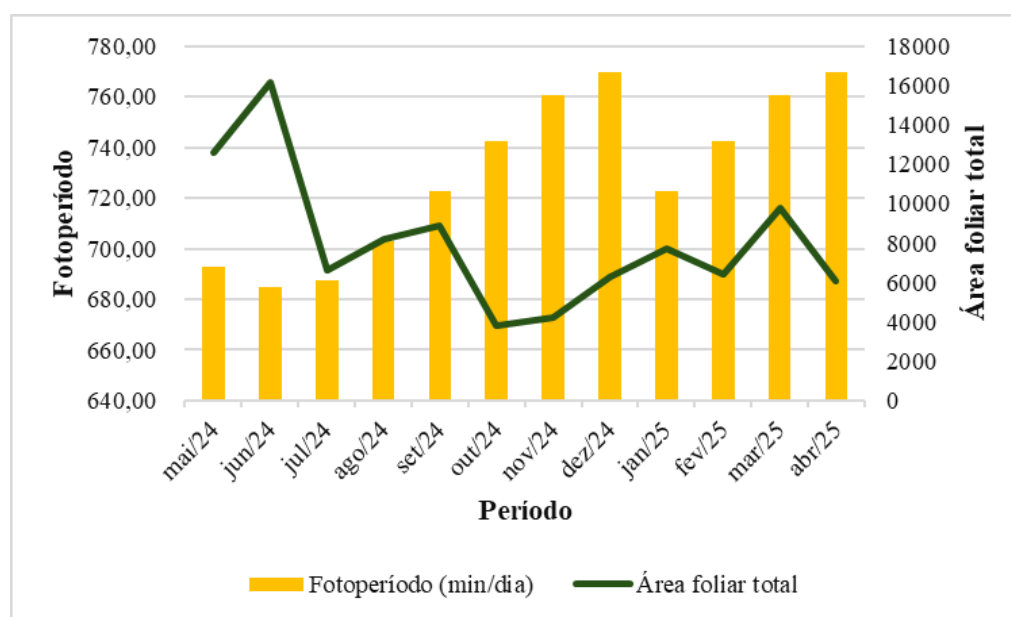


Figura 8. Relação entre Fotoperíodo (min/dia) e área foliar total (cm²) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

A massa seca total e teor de óleo apresentaram correlação positiva com a precipitação (Figura 4 e Figura 9), indicando que a disponibilidade hídrica exerce influência direta, tanto sobre o acúmulo de biomassa, quanto sobre a biossíntese de compostos voláteis na espécie. Isso ocorre porque a água é um recurso fundamental para o crescimento das plantas, atuando na manutenção dos estômatos abertos e, consequentemente, no aumento da taxa fotossintética, além de participar ativamente da expansão celular e transporte de nutrientes, o que reflete incrementos na biomassa total (Campos; Santos; Nacarath, 2021; Taiz *et al.*, 2021). Assim, Lie; Xue e Jacobs (2018), estudando a alocação de biomassa florestal em amplos gradientes de precipitação, verificaram

que a biomassa de caule, galhos, folhas e raízes aumentaram significativamente com o aumento da precipitação. Dessa forma, a precipitação influencia positivamente diversos processos fisiológicos, que podem estimular a biossíntese de compostos voláteis, como os óleos essenciais (Ashrafia *et al.*, 2018). Nesse contexto, Souza *et al.* (2017), ao estudar a composição química e o rendimento do óleo essencial da espécie *Croton sincorensis* Mart. ex Müll.Arg., observaram maior produtividade no período chuvoso, e Reis *et al.* (2010), relataram que para a espécie *Lychnophora pinaster* Mart. o teor de óleo foi significativamente menor no verão.

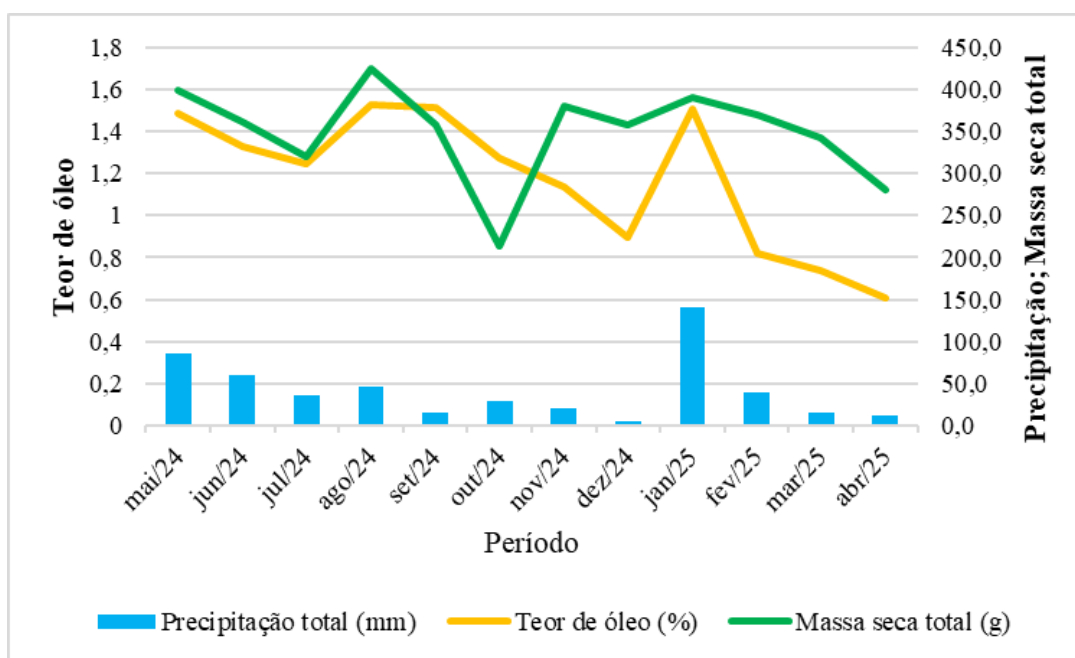


Figura 9. Relação entre precipitação (mm) massa seca total (g) e teor de óleo essencial (%) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

O rendimento do óleo apresentou correlação positiva com precipitação e umidade e negativa com a temperatura (Figura 4 e Figura 10). Esse comportamento indica que condições de maior disponibilidade hídrica e umidade relativa do ar elevada favorecem a biossíntese e o acúmulo de compostos voláteis. Enquanto temperaturas mais elevadas tendem a impactar negativamente esses processos. Resultados semelhantes foram encontrados por Rahal *et al.* (2022), que relataram maior rendimento de óleo essencial em *Chenopodium ambrosioides* L. durante períodos de maior índice pluviométrico. Da mesma forma, Elsharkawy e Nahed (2018) constataram que a espécie *Achillea fragrantissima* (Forssk) Sch. Bip apresentou maiores concentrações de alguns compostos durante o inverno.

Com relação à temperatura, esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que, quando os limites fisiológicos são ultrapassados, ocorre uma redução da atividade enzimática das vias biossintéticas, devido a prejuízos na formação e funcionamento das estruturas secretoras, o que leva à redução no teor de óleo essencial e, conseqüentemente, no rendimento por planta (Li *et al.*, 2016) ou, ainda, em virtude da maior volatilidade dos compostos de baixo peso molecular, principalmente os monoterpenos presentes nos óleos essenciais, nos períodos de temperatura mais elevadas (Abdelmohsen; Elmaidomy, 2025).

O rendimento de óleo também apresentou correlação positiva com a área foliar total, massa seca foliar e o teor de óleo (Figura 4), o que explica os maiores valores registrados no mês de junho, período em que esses parâmetros também foram elevados. Assim, com base nos dados obtidos, mantendo-se as condições climáticas, pode-se inferir que o mês de junho é o período mais adequado para se obter maiores rendimentos de óleo essencial da espécie, pois as plantas apresentam maior acúmulo de massa seca de folhas sob temperaturas mais amenas.

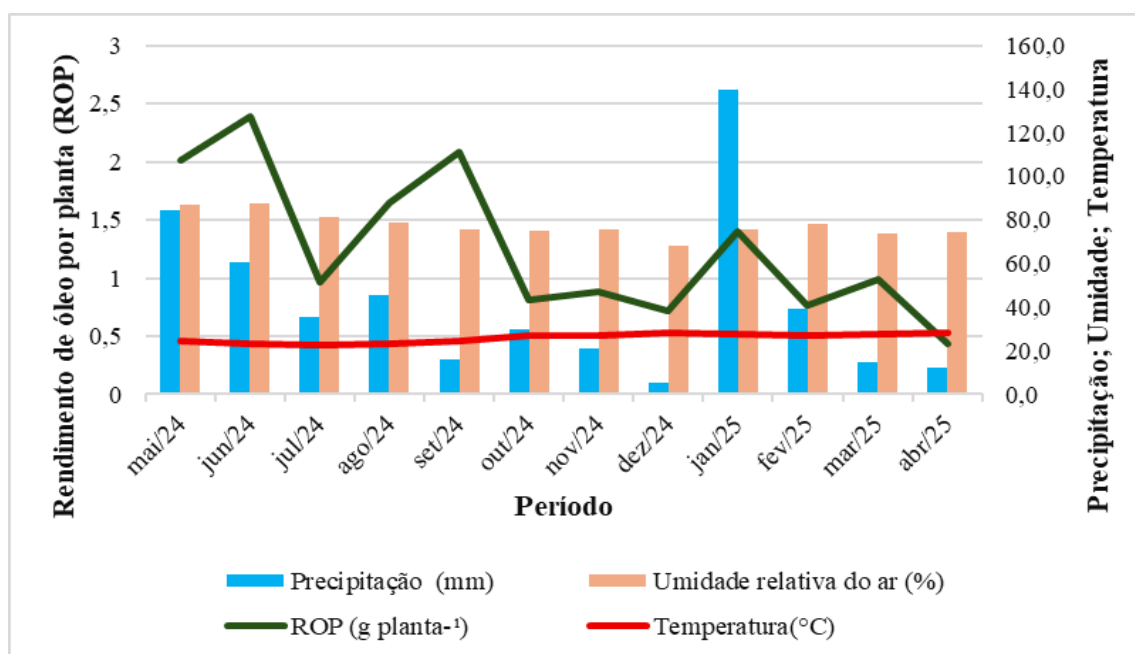


Figura 10. Relação entre precipitação (mm), umidade relativa (%), temperatura (°C) e rendimento de óleo por planta a (ROP) (g planta⁻¹) da espécie *Lippia insignis* Moldenke cultivada nas condições de Feira de Santana, Bahia, Brasil, no período de maio de 2024 a abril de 2025.

Cada espécie responde de maneira distinta às condições ambientais em que está inserida, e a capacidade de adaptação das plantas às variações climáticas influencia diretamente a quantidade de princípios ativos produzidos (Pinto *et al.*, 2007). Nesse contexto, compreender a relação entre a produção de óleos essenciais e as condições sazonais é fundamental para explicar as variações na quantidade e composição química desses compostos (Maldaner *et al.*, 2025).

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a influência das variações climáticas sobre os parâmetros de crescimento e produção de *L. insignis*, que demonstram alta sensibilidade, principalmente em relação à precipitação e fotoperíodo. Entender a relação das condições climáticas e o crescimento e produção da planta contribui significativamente para orientar práticas de manejo mais eficientes, otimizando os períodos de coleta, cultivo e produção de óleo essencial, além de adotar estratégias que minimizem os impactos ambientais. Contudo, ressalta-se a necessidade da análise fitoquímica dos óleos essenciais obtidos, o que permitirá o entendimento mais preciso sobre o efeito dos fatores climáticos sobre a produção da espécie, haja vista que tão importante quanto a quantidade de óleo é a qualidade, definida pela composição química dos mesmos.

2.4 CONCLUSÃO

As variações climáticas influenciam os parâmetros de crescimento de *Lippia insignis* Moldenke, exceto o número de perfilho, massa seca do caule e massa seca da flor. O acúmulo de biomassa e produção de óleo essencial foram significativamente reduzidos em períodos caracterizados por temperaturas mais elevadas e menor disponibilidade hídrica. Considerando as condições climáticas do período de estudo, o mês de junho é o mais favorável para se obter maiores rendimentos de óleo essencial da espécie.

REFERÊNCIAS

ASHRAFIA, M. *et al.* Effect of drought stress on metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive thyme. **Plant Physiology and Biochemistry**, 132, pp. 391-399, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.009>.

ARAÚJO, G. M. **Caracterização da morfoanatomia, fenologia e composição química do óleo essencial de *Aloysia hatschbachii* (Verbenaceae)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21092>.

ABDELMOHSEN, U. R.; ELMAIDOMY, A. H. Exploring the therapeutic potential of essential oils: A review of composition and influencing factors. **Frontiers in Natural Products**, v. 4, p. 1490511, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fntpr.2025.1490511>.

CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 15, pág. e311101523155, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>.

COSTA, P. S. *et al.* Atividade antimicrobiana e potencial terapêutico do gênero *Lippia* sensu lato (Verbenaceae). **Hoehnea**, 44(2): 158-171, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-68/2016>.

CNCFlora. 2022. ***Lippia insignis* in Lista Vermelha da flora brasileira**. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/ptbr/profile/Lippia%20insignis>. Acesso em 25 set. 2024.

CNCFlora. Verbenaceae. 2025. **Centro Nacional de Conservação da Flora**. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha/VERBENACEAE>. Acesso em: 10 fev. 2025.

CHIA, S. Y.; LIM, M. W. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. In: **IOP conference series: materials science and engineering**. IOP Publishing, p. 012001, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1257/1/012001>.

CHRISTOPH, L. *et al.* Manipulating the cell/air space ratio to optimize photosynthesis. **Plant Journal**, v. 92, n. 6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tpj.13776>.

ELSHARKAWY, E.; NAHED, N. E-D. Effect of seasonal variations on the yield of essential oil and antioxidant of *Achillea fragrantissima* (Forssk) Sch. Bip. **African Journal of Biotechnology**, v. 17, n. 28, p. 892-897, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJB2018.16482>.

GERMANO, C. M *et al.* Seasonal variations during two years in the essential oil of *Lippia dulcis* Trevir., an exotic aromatic of the Amazon. **Journal of Essential Oil Research**, v. 34, n. 4, p. 352-360, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2058635>.

GOMES, I. A. C. *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. Oeiras sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 109- 115, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100018>.

GOMES, S. V. F. *et al.* Aspectos químicos e biológicos do gênero *Lippia* enfatizando *Lippia gracilis* Schauer. **Eclética Química**, vol.36 n.1, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702011000100005>.

KANG, J. H. *et al.* Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. **Horticulture**,

Environment, and Biotechnology, v. 54, p. 501-509, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>.

LI, Q. *et al.* A análise transcriptômica baseada em RNA-seq revela as vias de biossíntese dos ácidos α -linolênico e jasmônico que respondem à aclimatação ao frio em *Camellia japonica*. **Scientific Reports**, 36463, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep36463>.

LIE, Z.; XUE, L.; JACOBS, D. F. Allocation of forest biomass across broad precipitation gradients in China's forests. **Scientific Reports**, 8, 10536, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28899-5>.

MALDANER, J.; *et al.* Influência da sazonalidade no rendimento de óleos essenciais no Sul do Brasil. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria (RS, Brasil), v. 26, n. 1, p. 33–43, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.37779/nt.v26i1.5011>.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance. **Journal of Ecology**, London, v. 97, p. 311-325, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01466.x>.

MAR, J. M. *et al.* *Lippia origanoides* essential oil: An efficient alternative to control *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. **Industrial Crops and Products**, v.111, p. 292-297, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.033>.

NEPOMUCENO, L. L. *et al.* Padronização metodológica in vitro do ensaio colorimétrico MTT para avaliação da atividade de formazan e dosagem do fármaco: padronização do teste colorimétrico MTT. **Farmacologia Aplicada à Enfermagem: Aspectos Teóricos e Práticos**, p. 149-161, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/201202541>.

PASCUAL, M. E. *et al.* *Lippia*: tradicional uses, chemistry and pharmacology: a review. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 76, p. 201-214, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00234-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00234-3).

PEREIRA, J. C. *et al.* Espécies medicinais do Brasil com potencial anti-inflamatório ou antioxidante: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e10310716196-e10310716196, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16196>.

PINTO, J.E.B.P. *et al.* Espectros morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.2, p.210-4, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200016>.

PROCHNOW, D. **Crescimento, produção e qualidade do óleo essencial de *Aloysia triphylla* em função da disponibilidade hídrica e sazonalidade**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen- RS, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/4946>.

RAMAN, V. *et al.* Proteomic analysis reveals that an extract of the plant *Lippia origanoides* suppresses mitochondrial metabolism in triple-negative breast cancer cells. **Journal of Proteome**

Research, v.17, n. 10, p.3370-3383, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.8b00255>.

RAHAL, I. L. *et al.* Determinação do rendimento do óleo essencial de *Chenopodium ambrosioides* L. em função da variação sazonal. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**. Umuarama. v. 26, n. 3, p. 1099-1110, set./dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.25110/arqsaude.v26i3.2022.8994>.

REIS, E. S. *et al.* Seasonal variation in essential oils of *Lychnophora pinaster* Mart. **Journal of Essential Oil Research**, v. 22, n. 2, p. 147-149, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10412905.2010.9700288>.

REN, T.; WERADUWAGE, S. M.; SHARKEY, T. D. Prospects for enhancing leaf photosynthetic capacity by manipulating mesophyll cell morphology. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1153-1165, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery448>.

SANTANA, S. R.; GOMES, R. S. Propriedades Fitoquímicas e Perspectivas do Melhoramento Genético de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek: Revisão de Literatura. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 3, p. 353-359, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2022v26n3p353-359>.

SANTOS, D. R. *et al.* Insecticidal activity of essential oils of species from the genus *Lippia* against *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae). **Sociobiology**. 67(2): 292-300, June, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i2.4992>.

SAKYIAMAHA, M. M. *et al.* Effect of seasonal variations on the secondary metabolites and antioxidant activities of *Bridelia ferruginea*, *Lippia multiflora*, and *Azadirachta indica* leaves. **Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy**, Vol. 16(1), pp. 1-13, January-March, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/JPP2023.0624>.

SALIMENA, F.R.G.; CARDOSO, P.H. *Lippia in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15170>>. Acesso em 10 jan. 2025.

SILVA, L. A. P. *et al.* Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros-Semiárido Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 35, p. e67666, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666>.

SILVA, D. T. *et al.* Análise Do Efeito Da Sazonalidade Sobre O Rendimento Do Óleo Essencial Das Folhas De *Nectandra grandiflora* Nees1. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1065-1072, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000600009>.

SOARES, B. V.; DIAS, M.T. Espécies de *Lippia* (Verbenaceae), seu potencial bioativo e importância na medicina veterinária e aquicultura. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 109-123, 2013.

SOUZA, G.S. *et al.* Chemical composition and yield of essential oil from three Croton species. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, e20161054, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161054>

SCABINI, C. **Variação sazonal e circadiana de metabólitos não voláteis em folhas de *Lippia alba* (Mill.) NE BR. ex Britton & P. Wilson.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Vitória da Conquista - BA, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/39484>.

TORRES, A. P.; LOPEZ, R. G. Photoperiod and temperature influence flowering responses and morphology of Tecoma stans. **HortScience**, v. 46, n. 3, p. 416-419, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.416>

TAVARES, E. S. *et al.* Análise do óleo essencial de folhas de três quimiotipos de Lippia alba (Mill.) NE Br. (Verbenaceae) cultivados em condições semelhantes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 1-5, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2005000100002>.

TAIZ, L. *et al.* **Fundamentos de fisiologia vegetal.** 6 ed. Porto Alegre: Artimed, 2021.1302p.

TRINDADE, S. C. *et al.* Atividade antimicrobiana dos extratos metanólicos de diferentes espécies do gênero Lippia. **Research, Society and Development**, v.10, n.9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18051>.

WU, S. *et al.* Photoperiodic Effect on Growth, Photosynthesis, Mineral Elements, and Metabolome of Tomato Seedlings in a Plant Factory. **Plants**, v. 13, n. 22, p. 3119, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13223119>.

XU, Y., *et al.* Efeitos dos fotoperíodos de LED e das qualidades da luz no crescimento *in vitro* e na fluorescência da clorofila de *Cunninghamia lanceolata*. **BMC Plant Biol** 20, 269, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02480-7>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que os experimentos foram realizados, a espécie *Lippia insignis* Moldenke demonstrou ser influenciada significativamente pelas variações climáticas, o que afetou a sua fenologia, crescimento e produção de óleo essencial. A sincronia foliar demonstra potencial para exploração contínua da espécie ao longo do ano. A influência da precipitação e da umidade relativa do ar sobre o teor de óleo e a massa seca das folhas, respectivamente, indicam os períodos estratégicos para maximizar a produção de óleo essencial.

Ressalta-se que *Lippia insignis* Moldenke é uma espécie silvestre, ainda não domesticada e de elevado potencial econômico pela qualidade dos seus óleos essenciais. Assim, esses resultados são fundamentais para nortear ações futuras nas áreas de cultivo e manejo de *L. insignis*, permitindo identificar períodos de coletas favoráveis e otimizar a produção. Além de auxiliar nas estratégias de conservação e exploração sustentável da espécie.

APÊNDICE A - Resumo das análises de variância: ANOVA e teste de Friedman

Soma de quadrados (SQ); Graus de liberdade (GL); Quadrado médio (MQ); F-value (F); Chi-Quadrado (χ^2); Área foliar total (AFT) (cm²); Altura (ALT) (m); Diâmetro do caule (DCL) (mm); Número de perfilho (PERF); Diâmetro da copa (DC) (m); Massa seca das folhas (MSF) (g); Massa seca do caule (MSC) (g); Massa seca da flor (MSFL) (g); Massa seca total (MST) (g); Teor de óleo essencial (TO) (%); Rendimento de óleo essencial por planta (ROP) (g planta⁻¹).

ANOVA

Variáveis	SQ	GL	MQ	F	p-value
ALT	1,8902	11	0,17183	1,5974	0,1414
DCL	611,96	11	55,633	2,008	0,06019
DC	1,7156	11	0,15596	1,4097	0,2148
MST	141766	11	12888	1	0,4671
TO	4,7998	11	0,43634	5,3808	0,00005
MSC	109350	11	9940,9	0,7414	0,6922

Teste de Friedman

Variáveis	χ^2	GL	p-value
AFT	29,308	11	0,002033
PERF	7,5625	11	0,7519
MSF	27,308	11	0,004128
MSFL	39,121	11	0,00005
ROP	27,808	11	0,003464