

**JUAN DAVID SOLANO MENDOZA**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE  
ÓLEO ESSENCIAL DE *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. ex BRITTON & P. WILSON, EM  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

**Botucatu**

**2020**



**JUAN DAVID SOLANO MENDOZA**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE  
OLEO ESSENCIAL DE *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. ex BRITTON & P. WILSON, EM  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Teses apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Profa. Dra. Marcia Ortiz Mayo Marques  
Coorientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

**Botucatu**

**2020**

M539p

Mendoza, Juan David Solano

Produção de biomassa, rendimento e composição química de óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. ex BRITTON & P. WILSON, em diferentes lâminas de irrigação / Juan David Solano Mendoza. -- , 2020

91 p. : il., tabs., fotos

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

Orientadora: Marcia Ortiz Mayo Marques

Coorientador: João Carlos Cury Saad

1. erva cidreira. 2. irrigação. 3. óleo essencial. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "PRODUÇÃO DE BIOMASSA, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. ex BRITTON & P. WILSON, EM DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO"

AUTOR: JUAN DAVID SOLANO MENDOZA  
ORIENTADORA: MÁRCIA ORTIZ MAYO MARQUES  
COORIENTADOR: JOÃO CARLOS CURY SAAD

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:

*Marcia Ortiz Mayo Marques*

Dr.<sup>a</sup> MÁRCIA ORTIZ MAYO MARQUES  
Centro de P&D de Recursos Genéticos Vegetais / Instituto Agronômico de Campinas

*Enzo Dal Pai*  
Prof. Dr. ENZO DAL PAI  
Pós-Doutorando - Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

*Walter José Siqueira*  
Dr. WALTER JOSÉ SIQUEIRA  
Centro de Genética e Biologia Molecular / Instituto Agronômico de Campinas

*Jennifer Bufalo*  
Pesquisadora Dr.<sup>a</sup> JENNIFER BUFALO  
Global, Innovation Scent & Care / Symrise Aromas e Fragrâncias Ltda.

*Lin Chau Ming*  
Prof. Dr. LIN CHAU MING  
Horticultura / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 06 de março de 2020.



*A Maria Jackeline Chavarria Mora*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar sabedoria, paz e vontade para levar este projeto até o fim.

A minha querida família, Lucia, Hugo, Felipe e Catalina pelo incentivo ao estudo.

Aos amigos e colegas da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Fazenda Lageado e Laboratorio de Fitoquímica e Produtos Naturais do IAC. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Departamento de Horticultura da FCA, Botucatu pela bolsa de estudo com código de financiamento 001.

Ao Programa de Melhoramento Genético do Centro de Pesquisa de Recursos Genéticos Vegetais do Instituto Agrônômico (IAC) por disponibilizar o material vegetal utilizado no estudo.

À Professor(a) Marcia Ortiz Mayo Marques, João Carlos Cury Saad, Lin Chau Ming, Walter José Siqueira, Marcia Márcia Pereira Sartori, Enzo Dal Pai pela paciência e suas valiosas orientações, disponibilidade e contribuições ao longo da Tese.

A minha querida esposa Jackeline pela ajuda incondicional e amorosa compreensão.



## RESUMO

A *Lippia alba* (Verbenaceae), popularmente conhecida como erva-cidreira, é uma planta originária da América do Sul e considerada um recurso genético vegetal de altíssimo valor para estudos de bioprospecção pela sua potencial importância econômica, ecológica e propriedades do seu óleo essencial. A irrigação de sistemas de produção agrícola depende da disponibilidade dos recursos hídricos da demanda de água em cada etapa do cultivo, requerendo um manejo criterioso e sustentável. Estudos em plantas aromáticas têm mostrado que o manejo da água por meio da irrigação e as condições climáticas do local de cultivo são fatores abióticos determinantes na produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e síntese de princípios ativos de interesse para a indústria de cosméticos, perfumes e fragrâncias. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação na biomassa, rendimento, produção e composição química do óleo essencial da espécie *Lippia alba*, de clones selecionados de quimiotipo linalol, pertencentes ao Banco de Germoplasma do Instituto Agrônomo (IAC). As mudas foram obtidas por propagação assexuada e o cultivo conduzido em casa de vegetação em sistema orgânico de produção. Os tratamentos foram representados pelo manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência (50%, 75%, 100%  $ET_0$  e 125% da  $ET_0$ ). Os cortes foram efetuados aos 90, 180, 270 e 360 dias após a poda de formação (DAPF). As plantas foram avaliadas quanto à produção total de matéria seca das folhas (PTMSF), produção total de matéria seca dos caules (PTMSC), produção total de matéria seca da parte aérea (PTMSPA), rendimento das folhas (RDF), rendimento do óleo essencial (ROE), produção do óleo essencial por planta (POE) e composição química do óleo essencial das folhas. Os resultados foram submetidos à análise de variância, complementada pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. A análise multivariada foi aplicada aos resultados de composição química dos óleos essenciais. Houve acréscimo nas características agrônômicas (PTMSF, PTMSC, PTMSPA, RDF, ROE e POE) em função das lâminas de irrigação. No segundo e terceiro cortes foram observados os maiores valores de PTMSF, obtidos com as lâminas de irrigação de 100% da  $ET_0$  e de 125% da  $ET_0$ , respectivamente.

Os maiores valores de PTMSC e PTMSPA foram observados no segundo e terceiro cortes com a lâmina de irrigação de 125% da  $ET_0$ . Os maiores valores de RDF foram observados no terceiro e quarto cortes com a lâmina de irrigação de 50% da  $ET_0$ . O segundo e quarto cortes apresentaram os maiores valores de ROE (1,02% e 1,03%) com a lâmina de irrigação de 75% da  $ET_0$ . Foram observados os maiores valores de POE no segundo corte (0,14 g.  $pl^{-1}$ ) e terceiro corte (0,13 g.  $pl^{-1}$ ) com as lâminas de irrigação de 100% da  $ET_0$  e 125% da  $ET_0$ , respectivamente. Os compostos majoritários nos óleos essenciais foram o linalol, 1,8 cineol, germacreno D,  $\beta$ -elemeno e geranial, representando 87,20% do total de constituintes detectados no primeiro corte, 88,17% no segundo corte, 92,25% no terceiro corte e 92,98% no quarto corte. Diferenças quantitativas e acréscimos nas proporções relativas médias das substâncias em função das lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ) foram verificadas, no primeiro corte, para o linalol (100% da  $ET_0$ ), geranial,  $\beta$ -elemeno e germacreno D (50% da  $ET_0$ ). No segundo corte, para o linalol (50% da  $ET_0$ ), geranial,  $\beta$ -elemeno e germacreno D (100% da  $ET_0$ ). No terceiro corte, para o linalol (50% da  $ET_0$ ), geranial e  $\beta$ -elemeno (100% da  $ET_0$ ) e do germacreno D (125 % da  $ET_0$ ). No quarto corte, para o linalol e geranial (100% da  $ET_0$ ) e para  $\beta$ -elemeno e germacreno D (75% da  $ET_0$ ). As maiores proporções relativas do linalol foram obtidas no quarto corte (84,8%) e no terceiro corte (83,4%) com as lâminas de irrigação de 100% e 50% da  $ET_0$ , respectivamente.

**Palavras-chave:** *Lippia alba*. Fatores abióticos. Deficit hídrico. Óleo essencial.

Linalol.

## ABSTRACT

*Lippia alba* (Verbenaceae), popularly known as lemon balm, is a plant originally from South America and considered a highly valuable plant genetic resource for bioprospecting studies due to its potential economic, ecological and essential oil properties. The irrigation of agricultural production systems depends on the availability of water resources for water demand at each stage of cultivation, requiring careful and sustainable management. Studies on aromatic plants have shown that water management through irrigation and the climatic conditions of the place of cultivation are abiotic factors determining biomass production, essential oil yield and synthesis of active principles of interest to the cosmetics, perfumes industry and fragrances. The objective of this study was to evaluate the effect of different irrigation depths on biomass, yield, production and chemical composition of the essential oil of the species *Lippia alba*, from selected clones of the linalool chemotype, belonging to the Germplasm Bank of the Agronomic Institute (IAC). The seedlings were obtained by asexual propagation and cultivation was carried out in a greenhouse in an organic production system. The treatments were represented by irrigation management based on reference evapotranspiration (50%, 75%, 100%  $ET_0$  and 125%  $ET_0$ ). The cuts were made at 90, 180, 270 and 360 days after the formation pruning (DAPF). Plants were evaluated for total leaf dry matter production (PTMSF), total stem dry matter production (PTMSC), total shoot dry matter production (PTMSPA), leaf yield (RDF), oil yield essential oil (ROE), production of essential oil per plant (POE) and chemical composition of leaf essential oil. The results were submitted to analysis of variance, complemented by the Scott-Knott test, at 5% probability. Multivariate analysis was applied to the results of chemical composition of essential oils. There was an increase in agronomic characteristics (PTMSF, PTMSC, PTMSPA, RDF, ROE and POE) due to the irrigation depths. In the second and third cuts, the highest values of PTMSF were observed, obtained with the irrigation depths of 100%  $ET_0$  and 125%  $ET_0$ , respectively. The highest values of PTMSC and PTMSPA were observed in the second and third cuts with the irrigation depth of 125% of  $ET_0$ . The highest values of RDF were observed in the third and fourth cuts with the 50%  $ET_0$  irrigation depth. The second and fourth cuts showed the highest ROE values (1.02% and 1.03%) with the 75%  $ET_0$  irrigation depth. The highest POE values were observed in the second cut (0,14 g.  $pl^{-1}$ ) and third

cut (0,13 g. pl<sup>-1</sup>) with the 100% ET<sub>0</sub> irrigation depth and 125% of ET<sub>0</sub>, respectively. The major compounds in essential oils were linalool, 1.8 cineole, germacrene D, β-elemene and geranial, representing 87.20% of the total constituents detected in the first cut, 88.17% in the second cut, 92.25% in the third cut and 92.98% in the fourth cut. Quantitative differences and additions in the average relative proportions of the substances as a function of the irrigation depths (% of ET<sub>0</sub>) were verified, in the first cut, for linalool (100% of ET<sub>0</sub>), geranial, β-elemene and germacrene D (50% of ET<sub>0</sub>). In the second cut, for linalool (50% of ET<sub>0</sub>), geranial, β-elemene and germacrene D (100% of ET<sub>0</sub>). In the third cut, for linalool (50% of ET<sub>0</sub>), geranial and β-elemene (100% of ET<sub>0</sub>) and germacrene D (125% of ET<sub>0</sub>). In the fourth cut, for linalool and geranial (100% of ET<sub>0</sub>) and for β-elemene and germacrene D (75% of ET<sub>0</sub>). The largest relative proportions of linalool were obtained in the fourth cut (84.8%) and in the third cut (83.4%) with the irrigation depths of 100% and 50% of ET<sub>0</sub>, respectively

**Key words:** *Lippia alba*. Abiotic factors. Water deficit. Essential oil. Linalool.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Estrutura química do neral, geranial, linalol e carvona.....  | 26 |
| Figura 2 – Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho / 2018) que antecedeu ao primeiro corte efetuado em 18 de julho de 2018, aos 90 (DAPF) .....          | 33 |
| Figura 3 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro/2018) que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 (DAPF).....         | 33 |
| Figura 4 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (15 outubro a 11 de janeiro/2019) que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 (DAPF) .....        | 34 |
| Figura 5 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril /2019) que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 (DAPF) .....          | 34 |
| Figura 6 - Evapotranspiração de referência $ET_0$ (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação, durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho /2018) que antecedeu ao corte efetuado o 18 de julho de 2018, aos 90 DAPF .....                            | 39 |
| Figura 7 - Demanda acumulada de água (mm) durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho de 2018), que antecedeu ao corte efetuado em 18 de julho de 2018, aos 90 DAPF .....  | 39 |
| Figura 8 - Evapotranspiração de referência $ET_0$ (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação, durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro /2018) que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 DAPF. ....              | 39 |
| Figura 9 - Demanda acumulada de água (mm) durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro/2018), que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 DAPF. ....  | 40 |
| Figura 10 - Evapotranspiração de referência $ET_0$ (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação durante o período de crescimento (15 de outubro de 2018 a 11 de janeiro de 2019), que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 DAPF..... | 41 |
| Figura 11 - Demanda de água acumulada (mm) (270 DAPF) durante o período de crescimento (15 de outubro de 2018 a 11 de janeiro de 2019), que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 DAPF .....  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 12 - Evapotranspiração de referência $ET_0$ (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril de 2019), que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 DAPF. .   | 42 |
| Figura 13 - Demanda de água acumulada (mm) durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril de 2019), que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 DAPF.....  | 42 |
| Figura 14 - Dendrogramas resultantes da análise de agrupamento para os quatro tratamentos avaliados (50% da $ET_0$ - A), (75% da $ET_0$ - B), (100% da $ET_0$ - C) e (125% da $ET_0$ - D), a partir das média das características agronômicas de <i>Lippia alba</i> , utilizando a distância euclidiana e análises d ..... | 58 |
| Figura 15 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da $ET_0$ ) no primeiro corte aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de <i>Lippia alba</i> .....                                  | 61 |
| Figura 16 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da $ET_0$ ) no segundo corte (180 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de <i>Lippia alba</i> .....   | 62 |
| Figura 17- Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da $ET_0$ ) no terceiro corte (270 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de <i>Lippia alba</i> .....   | 62 |
| Figura 18 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da $ET_0$ ) no terceiro corte (360 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de <i>Lippia alba</i> .....  | 63 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores da temperatura e umidade relativa média do ar (24 horas) nos quatro períodos de crescimento que antecederam aos cortes .....          | 32 |
| Tabela 2 - Características químicas da água utilizada para irrigação do experimento .....  | 35 |
| Tabela 3 - Produção total de matéria seca das folhas - PTMSF (g/planta) de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação .....                   | 43 |
| Tabela 4 - Produção total de matéria seca dos caules - PTMSC (g/planta) de <i>Lippia alba</i> em função das Lâminas de irrigação .....                   | 45 |
| Tabela 5 - Produção total de matéria seca da parte aérea - PTMSPA (g/planta) de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação.....               | 48 |
| Tabela 6 - Rendimento das folhas - RDF (%) de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação .....  | 50 |
| Tabela 7- Rendimento de óleo essencial (%) das folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação .....                                     | 52 |
| Tabela 8 - Produção de óleo essencial por planta (g. pl <sup>-1</sup> ) de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação.....                    | 55 |
| Tabela 9 - Médias das características agrônômicas de <i>Lippia alba</i> para os quatro cortes em função das lâminas de irrigação .....                   | 57 |
| Tabela 10 - Composição química média (%) do óleo essencial das folhas de <i>Lippia alba</i> , quimiotipo Linalol em função das lâminas de irrigação..... | 60 |
| Tabela 11 - Proporção relativa do linalol (%) nas folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação .....                                  | 64 |
| Tabela 12 - Proporção relativa de 1,8 cineol (%) nas folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas .....  | 66 |
| Tabela 13 - Proporção relativa de Geranial (%) nas folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação.....                                  | 68 |
| Tabela 14 - Proporção relativa de $\beta$ -elemeno (%) nas folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação.....                          | 70 |
| Tabela 15 - Proporção relativa de germacreno D (%) nas folhas de <i>Lippia alba</i> em função das lâminas de irrigação .....                             | 72 |



## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>19</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>  | <b>22</b> |
| 2.1.     | ASPECTOS GERAIS EM PLANTAS AROMÁTICAS .....   | 22        |
| 2.2.     | ASPECTOS AGRONÔMICOS, BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DA <i>LIPPIA ALBA</i> .....               | 24        |
| 2.3.     | DEMANDA E USO CONSULTIVO DA ÁGUA EM PLANTAS .....                                     | 27        |
| 2.4.     | A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $ET_0$ ), .....                                   | 27        |
| 2.5.     | DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS .....  | 28        |
| 2.6.     | FATORES ABIÓTICOS E OS METABÓLITOS ESPECIALIZADOS EM PLANTAS AROMÁTICAS.....          | 29        |
| 2.6.1.   | <i>Déficit hídrico em plantas aromáticas</i> .....                                    | 29        |
| 2.6.2.   | <i>Época de corte em plantas aromáticas</i> .....                                     | 29        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>   | <b>31</b> |
| 3.1.     | MATERIAL VEGETAL E PREPARAÇÃO DAS MUDAS .....   | 31        |
| 3.2.     | LOCALIDADE E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....                                | 31        |
| 3.3.     | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....  | 35        |
| 3.4.     | CONTROLE DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO .....   | 35        |
| 3.5.     | CORTE E BENEFICIAMENTO DO MATERIAL VEGETAL .....                                      | 36        |
| 3.6.     | SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL .....   | 36        |
| 3.7.     | CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS AVALIADAS.....  | 36        |
| 3.8.     | EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL DAS FOLHAS (ROE).....                         | 36        |
| 3.9.     | PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL POR PLANTA (POE).....                                      | 37        |
| 3.10.    | CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL .....                          | 37        |
| 3.10.1.  | <i>Composição Química do Óleo essencial</i> .....                                     | 37        |
| 3.11.    | ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....   | 38        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>   | <b>38</b> |
| 4.1.     | EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA - $ET_0$ (MM/D) E DEMANDA ACUMULADA DE ÁGUA (MM) .... | 38        |
| 4.2.     | CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS .....   | 42        |
| 4.2.1.   | <i>Produção total de matéria seca das folhas (PTMSF)</i> .....                        | 43        |
| 4.2.2.   | <i>Produção total de matéria seca dos caules (PTMSC)</i> .....                        | 45        |
| 4.2.3.   | <i>Produção total de matéria seca da parte aérea (PTMSPA)</i> .....                   | 47        |
| 4.2.4.   | <i>Rendimento das folhas (RDF)</i> .....  | 50        |
| 4.2.5.   | <i>Rendimento de óleo essencial das folhas (ROE)</i> .....                            | 52        |
| 4.2.6.   | <i>Produção de óleo essencial por planta (POE)</i> .....                              | 55        |
| 4.3.     | COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL .....  | 59        |
| 4.3.1.   | <i>Linalol</i> .....  | 64        |
| 4.3.2.   | <i>1,8 cineol</i> .....   | 66        |
| 4.3.3.   | <i>Geranial</i> .....   | 68        |
| 4.3.4.   | <i><math>\beta</math>-elemeno</i> .....   | 70        |
| 4.3.5.   | <i>Germacreno D</i> .....   | 72        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>   | <b>76</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b>   | <b>77</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>79</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

No atual modelo de produção agrícola ocorrem mudanças na cobertura e uso intensivo do solo, o que ocasiona nas regiões alterações nos gradientes de temperatura, umidade relativa, ventos, pressão atmosférica e distribuição das precipitações. Na produção vegetal, a água é fundamental para o desenvolvimento das plantas e, por isso, é fundamental a implementação de técnicas agronômicas visando seu uso racional e sustentável.

Em nível global, a agricultura é o setor que mais demanda água. Nas atividades agrícolas são utilizadas 70% da água total extraída, sendo maior o uso em países subdesenvolvidos, onde o índice chega a 90%. Na América do Sul a agricultura é responsável por 67% do total de água em uso.

No Brasil 67,2% do total de água extraída é utilizado na irrigação para suprir a demanda de água das culturas agrícolas, principalmente em regiões com escassez de água mais acentuada, como é caso o Semiárido ou em períodos específicos de seca nas demais regiões do país. No ano de 2014, a estiagem severa na região sudeste ocasionou crise e insegurança hídrica ao reduzir as vazões dos rios e o armazenamento dos reservatórios.

O uso da irrigação em sistemas de produção agrícola depende da disponibilidade dos recursos hídricos de uma região. Um estudo realizado pelo grupo intergovernamental de especialistas em mudanças climáticas (IPCC) no ano de 2019, mostrou que o uso da água na agricultura aumentará de 5 a 8% em 2050.

Segundo o Tratado Internacional sobre os Recursos Filogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (FAO), os países em desenvolvimento precisam implementar estratégias de adaptação e mitigação de manejo da água visando aumentar a capacidade de resiliência dos sistemas agrícolas ante os efeitos negativos das mudanças climáticas.

Na América Latina e no Caribe, os habitats das plantas aromáticas estão sendo ameaçados pela crescente demanda e práticas inadequadas de coleta, pois a maior parte das populações dessas espécies ainda são silvestres ou estão em processo de domesticação.

No Brasil, o cultivo de plantas aromáticas tem destaque como alternativa de diversificação dos agroecossistemas e pela geração de renda. O tema recursos genéticos vegetais de plantas aromáticas, associado às tecnologias de produção de

base agroecológica para o uso e manejo eficiente da agrobiodiversidade, da água e do solo, é uma prioridade para o país, particularmente quando se trata de espécies em processo de domesticação com interesse comercial, como é o caso da espécie *Lippia alba* (Mill.) N. E. ex Britton & P. Wilson.

A erva-cidreira (*Lippia alba*) é uma planta originária da América do Sul e no Brasil é encontrada em ambientes antrópicos, como a caatinga (*stricto sensu*), floresta ciliar, floresta ombrófila, restinga e palmeiral.

A erva-cidreira é considerada um recurso genético vegetal de altíssimo valor econômico e ecológico, sendo que os estudos de bioprospecção são prioritários para o seu cultivo comercial e a produção de produtos naturais a partir de seu óleo essencial.

Em estudos realizados nos óleos essenciais extraídos de diferentes quimiotipos de *Lippia alba* (cital, linalol, tagetenona, limoneno, mirceno,  $\gamma$ -terpineno, alcanfor, 1,8-cineol e estragol) foram avaliadas as suas propriedades biológicas como: atividade antioxidante (Stashenko et al., 2013), antiespasmódico (Blanco et al., 2014) e antifúngico (Glamočlija et al., 2011). O linalol (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) é um monoterpeneo oxigenado de estrutura linear acíclica e grupo funcional álcool, parcialmente solúvel em água ou em soluções hidroetanólicas, propriedade química que é aproveitada na indústria de cosméticos para o desenvolvimento de produtos aromatizantes, fragrâncias e perfumes (Letizia et al., 2003).

O linalol é a substância constituinte do óleo essencial de espécies como lavandula e flores de citrus, que é utilizada na produção do perfumes e fragrâncias. Por este motivo é importante realizar estudos agrônômicos e de caracterização fitoquímica em clones selecionados de *Lippia alba* – quimiotipo inalol, com a finalidade de oferecer cultivares diferenciados com uso potencial para o desenvolvimento de produtos naturais bioativos inovadores na indústria da perfumaria, higiene e cosméticos.

Para atender aos requisitos de qualidade dos produtos naturais desenvolvidos a partir de plantas aromáticas, é necessário realizar estudos em diferentes áreas tecnológicas como domesticação, técnicas de cultivo e extração visando o uso racional e sustentável de suas substâncias químicas.

Estudos em plantas aromáticas têm mostrado que o manejo da irrigação e as condições climáticas do local de cultivo são fatores abióticos determinantes na produção e acúmulo de substâncias bioativas de interesse oriundas do metabolismo especializado, também chamado de metabolismo secundário.

Em *Lippia alba* foi verificado o efeito dos fatores abióticos no rendimento e composição química de seus óleos essenciais (Zambrano et al., 2013, Barros et al, 2009; Santos e Inneco, 2004), porém não foi avaliado o efeito do déficit hídrico nas características agronômicas e na composição química do óleo essencial.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação nas características agronômicas e na composição química do óleo essencial da espécie *Lippia alba*, quimiotipo linalol.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais em plantas aromáticas

No mundo, a produção industrial de óleos essenciais obtidos de plantas aromáticas é liderada pela França que historicamente tem desenvolvido técnicas de cultivo. Os países em desenvolvimento como a China, Brasil, Turquia e México também se destacaram na última década, principalmente pelos importantes avanços na produção de matérias-primas e óleos essenciais obtidos de espécies vegetais aromáticas (DWECK, 2009). No caso específico da indústria de fragrâncias e perfumes, as empresas líderes do mercado no nível global estão localizadas na Suíça, Estados Unidos, Alemanha, Japão e França.

No mercado global é encontrada uma alta variedade de preparações cosméticas que podem conter extratos e óleos essenciais de plantas aromáticas, como cremes, emulsões, loções, perfumes, géis, sabonetes e desodorantes (ARRAIZA et al., 2014).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos - ABIHPEC (2018), os Estados Unidos, Alemanha, Japão e o Brasil são os quatro maiores consumidores mundiais de produtos de higiene, perfumaria e cosméticos. No Brasil, a maioria das empresas regularizadas pela Associação Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA está localizada nas regiões Sudeste e Sul do país, conforme levantamento de 2018.

Segundo Dauphin et al. (2016), no nível global, os agricultores fornecem à indústria de aromas e fragrâncias entre 200 e 250 diferentes espécies botânicas cultivadas em um área explorada de aproximadamente 250.000 hectares.

A espécie *Lippia alba* é nativa do Brasil. Para realizar estudos de bioprospeção desta espécie aromática precisa-se seguir as normativas do decreto 8.772/16 que regulamenta a Lei 13.123/15. Tal lei dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, ao conhecimento tradicional associado e sobre a reparação de benefícios para a conservação e uso sustentável da biodiversidade nacional pela comunidade científica, a indústria e todos aqueles, que de alguma maneira, utilizam matéria-prima contendo recursos genéticos vegetais brasileiros.

Segundo Walter (2001 apud SCHIPPMANN, 2006, p. 75), as plantas aromáticas têm importantes funções ecológicas, sociais, econômicas e culturais nos agroecossistemas.

Na América Latina e no Caribe existem regiões secas e úmidas, com diferenças climáticas nas estações do ano, o que favorece a presença de uma grande diversidade de plantas aromáticas, as quais se adaptam a diferentes condições agroecológicas em altitudes que variam de 0 até 3000m acima do nível do mar (BANDONI e DELLACASSA, 2010).

Os agricultores estabelecem as plantas aromáticas e medicinais em seus sistemas agroflorestais e de agricultura familiar sendo seu cultivo uma alternativa para a geração de renda das famílias e a diversificação da produção.

Dentro da grande diversidade de espécies vegetais com propriedades aromáticas existentes nos agroecossistemas e ecossistemas naturais, destacam-se algumas famílias botânicas: Pinaceae, Verbenaceae, Rutaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Lauraceae, Apiaceae e Myrtaceae (STASHENKO, 2009).

A utilização das plantas aromáticas é diversa, indo desde a indústria de alimentos até a indústria farmacêutica, higiene e cosméticos. Nas comunidades tradicionais e agricultura familiar, as plantas aromáticas são parte do sistema de medicina, sendo adotadas para prevenir e curar doenças, na dieta alimentar como fonte de nutrientes, na higiene pessoal para o cuidado corporal ou como elementos em rituais (ARRAIZA et al., 2014; LEMOS DE ARRUDA CAMARGO, 2014).

Na indústria de cosméticos, as plantas aromáticas são fontes de produtos naturais bioativos para a produção de cosméticos que são usados no cuidado e aparência da pele e cabelo. As propriedades das plantas aromáticas e medicinais são muito variadas: tônicos, adstringentes, anti-inflamatórios, cicatrizantes, limpadores, hidratantes, relaxantes, emulsionantes, descongestionantes e refrescantes (SCHIPPMANN, 2006).

Para a produção e comercialização dos óleos essenciais obtidos de plantas aromáticas existem normas específicas que dependem das características, inocuidade e aplicação final (medicinal, cosméticos ou alimento). No caso da indústria de fragrâncias, é obrigatório seguir a norma e o código de práticas da Associação Internacional de Fragrâncias - IFRA (2019), a qual determina quais ingredientes podem ser usados para a preparação de produtos. No Brasil, a Associação Brasileira de Óleos Essenciais – Abifra (2019) filiada à IFRA, é o órgão responsável pela divulgação dos padrões internacionais de qualidade e segurança dos produtos junto ao mercado, consumidores e governo.

## 2.2. Aspectos agrônômicos, biológicos e químicos da *Lippia alba*

A *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. Verbenaceae, é uma espécie em processo de domesticação. Originária da América do sul, distribuiu-se desde o Norte dos Estados Unidos, México, bosques secos da América Central até as regiões úmidas do Caribe e da América do Sul (Ciccio e Ocampo, 2010). No Brasil, é encontrada em ambientes antrópicos, como a caatinga (*stricto sensu*), floresta ciliar ou galeria, floresta ombrófila, restinga e palmeiral (SALIMENA et al., 2015).

A espécie *Lippia alba* recebe diferentes nomes populares específicos: juanilama (Costa Rica, Nicaragua e Honduras), quita dolor (Cuba), salvia americana (Guatemala), Colie mint (Jamaica), mastrento (México), pronto alivio (Colômbia), oro azul (Panamá), salvia morada (Argentina), pampa orégano (Peru), erva-cidreira, capitão-do-mato, chá-de-febre, falsa melissa (Brasil). Ocampo e Valverde (2000); Mejia e Rengifo (2000); PORTO VERDECIA et al.,(2000); Peronzin e Francisco, 2001 apud MING et al., 2016, p. 35).

A erva-cidreira é um arbusto aromático rizomatoso de morfologia variável, alcançando até 1,50m de altura. Os ramos são delgados, flexíveis, eretos ou arqueados, às vezes decumbentes e arraizantes, em geral com entrenós longos (BURKART 1979 apud MING et al., 2016., p. 36).

As folhas apresentam diferentes variações morfológicas no contorno do limbo (elíptico ou lanceolado) e no ápice (obtusos, arredondado ou agudo). As folhas são inteiras, opostas, com bordas serradas, medindo de 3 a 6 cm de comprimento (HABER et al., 2013; SANTOS-MENDEZ, 2001).

As flores estão reunidas em inflorescências axilares de eixo curto e tamanho variável, inseridas sobre uma parte do receptáculo comum e um raque, acompanhadas por brácteas pouco diferenciadas (PARRA et al., 2010; MUÑOZ et al., 2007).

O fruto é equizocarpico constituído por dois mericarpos tipo drupa de forma orbicular-ovoide, arredondado de um lado e achatado do outro, o qual é formado por epicarpo liso e endocarpo (material de reserva). As sementes são formadas por dois cotilédones e hipocótilo-radícula (SCHOCKEN, 2007).

A utilização da espécie *L. alba* é diversa. As folhas e inflorescências são utilizadas no sistema medicinal tradicional e etnofarmacologia, na forma de decocções e infusões devido às propriedades digestivas, tônicas, anti-inflamatórias e analgésicas

(RASHID-OR-MAMIM ,2013;TAVARES et al., 2011;HENNEBELLE et al., 2008; TOSCANO, 2006).

Em estudos realizados nos óleos essenciais extraídos de diferentes quimiotipos de *Lippia alba* foram verificadas suas propriedades biológicas como anestésica HOHLENWERGER (2015); bioinseticida (RINGUELET et al., 2014; GONÇALVES DE SOUSA (2013); LOZADA (2012), atividade antimicrobiana (FEITOSA MACHADO, 2012), planta ornamental (BOTERO, 2011), antígenotóxico (VERA, 2010), atividade antioxidante (STASHENKO, 2003), uso na apicultura (VIT, 2002), antifúngica (RAO et al., 2000) e antibacteriana (PINO, 1996).

A *Lippia alba* pode ser cultivada entre 0 e 1900m acima do nível do mar. As plantas requerem para seu desenvolvimento temperaturas entre 15 e 25°C. As altas temperaturas favorecem seu crescimento vegetativo por ser um arbusto aromático típico de regiões secas (OCAMPO e VALVERDE, 2000).

A radiação solar é um fator ambiental importante na escolha do local de plantio da *Lippia alba* e está relacionada com a plasticidade fenotípica e adaptação da espécie a diferentes ambientes (MONTANARI et al., 2004).

Um solo com textura franco a franco arenosa é o ideal para o desenvolvimento da cultura, mas pode-se cultivar em solos de textura argilosa ou arenosa. Deve-se implementar sistemas de drenagens, principalmente em solos com tendência a inundação. A faixa de pH da saturação do solo mais favorável para a espécie *Lippia alba* é de 5 a 6 (BONILLA et al., 2013).

A propagação de *Lippia alba* para produção de mudas é realizada por reprodução assexuada, com a finalidade de manter as características da planta matriz. Utilizam-se estacas lenhosas ou semilenhosas de 20cm de comprimento com 4 a 5 nós sem folhas (BIASI e COSTA, 2003).

A poda de formação é efetuada aos 30 dias após o plantio, com a finalidade de obter maiores rendimentos (Ocampo e Valverde, 2000).

Para a adubação orgânica, recomenda-se aplicar 4,0 kg/m<sup>2</sup> ou 40 t/ha<sup>-1</sup> de esterco bovino curtido (MING, 1992).

Na Colômbia, no Centro experimental CEUNP da Universidade Nacional da Colômbia-Palmira, Hernández et al. (2004) determinaram a quantidade de extração de nutrientes em plantas de *Lippia alba*, em Kg/ha<sup>-1</sup> (N - 80 a 130, P - 24 a 30, K - 113 a 138, Ca - 102 a 150, Mg - 20 a 30 e S - 12 a 17). Os pesquisadores verificaram que há uma relação entre N, a fonte e a produção de biomassa.

Segundo Fiallo e Fuentes (1986), em *Lippia alba* é possível realizar até 5 colheitas (cortes) durante um ciclo produtivo de um ano, com intervalos a cada 75 dias.

No ano de 2006, foi instalado um banco de germoplasma para o melhoramento genético da espécie *Lippia alba* no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). O objetivo do programa de melhoramento genético é oferecer, por meio de seleção contínua, cultivares de erva-cidreira para o mercado visando suprir as necessidades de matéria-prima de qualidade para o desenvolvimento de novos produtos naturais bioativos na indústria de perfumaria, fragrâncias, higiene corporal, farmacêutica e alimentos. A partir da seleção inicial de 20 diferentes genótipos, com características diversas quanto à morfologia da parte aérea e composição dos seus óleos essenciais, foram identificados 8 genótipos pertencentes ao quimiotipo linalol (IAC-1 a IAC 8).

O linalol ( $C_{10}H_{18}O$ ) é um monoterpeneo oxigenado de estrutura linear acíclica e grupo funcional álcool (Figura 1), parcialmente solúvel em água ou em soluções hidroetanólicas, propriedade química que é aproveitada na indústria de cosméticos para o desenvolvimento de produtos aromatizantes, fragrâncias e perfumes (LETIZIA et al., 2003).

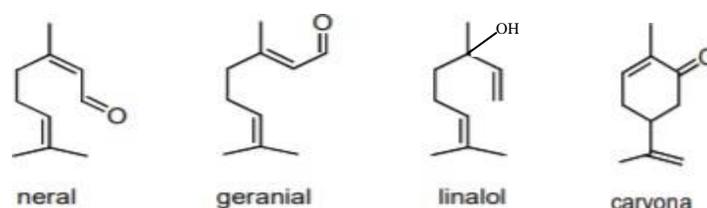


Figura 1 - Estrutura química do neral, geranial, linalol e carvona

**Fonte:** Ciccío e Ocampo (2010,p.120)

No Uruguay Lorenzo et al. (2001) cultivaram em sistema orgânico a espécie *Lippia alba* e observaram proporção relativa da substância linalol de 55,3%.

Vários estudos têm sido realizados com a *Lippia alba* quanto à sua morfologia foliar, floral, dos frutos e hábito de crescimento (Schocken, 2007), caracterização citogenética (VICCINI et al., 2006), fatores abióticos como sombreamento e época de colheita (VENTELLA, 2000).

Em 20 genótipos de *Lippia alba* (IAC1-IAC20) de cinco diferentes quimiotipos (linalol, mirceno/cânfora, limoneno/carvona, citral e mirceno), oriundos dos municípios

de Campinas e Botucatu-SP, Yamamoto (2006) estudou o efeito de genótipo (G), de experimentos (E) (ambientes diferenciados) e da interação G x E na produção e composição do óleo essencial, tendo verificado que os quimiotipos linalol e limoneno/carvona destacaram-se para as variáveis de rendimento de óleo essencial, quando comparados com os quimiotipos mirceno/cânfora, citral e mirceno.

Segundo Bottignon (2009), a espécie *Lippia alba* pode ter ganhos genéticos em diferentes ambientes para a maioria das características avaliadas, o que pode auxiliar na seleção de plantas superiores do quimiotipo Linalol.

### **2.3. Demanda e uso consultivo da água em plantas**

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2014), a água têm sido um fator limitante na produção agrícola, principalmente em regiões que apresentam baixo volume pluviométrico, insuficiente para atender a demanda de água das culturas agrícolas.

A água utilizada pelas culturas agrícolas corresponde à soma da transpiração das plantas e da evaporação da superfície do solo. A transpiração é a transferência de água na forma de vapor da superfície foliar para a atmosfera, enquanto que a evaporação corresponde à mudança da água do estado líquido para o gasoso na superfície do solo (REICHARDT e TIMM, 2016).

### **2.4. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ),**

Define-se a evapotranspiração como

*“A quantidade de água evaporada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo sem restrições de água, de altura uniforme e sem deficiência de água” (Reichardt e Timm, 2016, p.52).*

A partir das condições climáticas como energia líquida, vento e umidade relativa é determinada a  $ET_0$  sendo esta um elemento meteorológico de referência importante para estudos comparativos de perda de água pelas culturas agrícolas, em diferentes condições agroecológicas.

A  $ET_0$  pode ser calculada a partir das condições climáticas por métodos indiretos. Os métodos de Blaney-Criddle e de Thornthwaite estimam a  $ET_0$  a partir dos dados de temperatura do ar e de comprimento do dia. A  $ET_0$  é calculada também pelo

método de Penman-Monteth, o qual usa os dados de radiação solar, vento, umidade do ar, temperatura e pressão atmosférica. A unidade usual para expressar a evapotranspiração é mm/dia.

A evapotranspiração de referência  $ET_0$  pode ser calculada por métodos indiretos como o tanque de evaporação ou tanque Classe O tanque Classe A apresenta forma circular com 120,7 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade. Deve-se colocar o tanque sob uma base de madeira localizada 15cm acima do nível do solo. Após a instalação, o tanque é preenchido com a água deixando 5 cm de borda livre (FAO, 2014).

Os valores de evaporação do tanque (ECA) devem ser corrigidos a partir do cálculo do  $K_p$  (coeficiente do tanque), o qual depende da bordadura à qual o tanque está exposto, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (REICHARDT e TIMM, 2016).

## **2.5. Déficit hídrico em plantas**

De acordo com o Fundo Mundial para a Natureza – WWF (2009), o déficit hídrico em culturas agrícolas é definido como o momento no qual a planta começa a diminuir seu rendimento como consequência do insuficiente suprimento de água para atender a demanda hídrica da cultura. No campo, os sintomas são perda da turgescência das folhas e senescência de partes velhas da planta.

Os níveis hídricos das plantas são classificados em função do suprimento de água para as plantas sendo quatro categorias (saturação, ótimo, déficit leve e déficit severo) (WWF, 2009). O nível de saturação acontece quando se supera a capacidade de campo, o que impede o adequado funcionamento do sistema radicular das plantas.

O nível ótimo ocorre quando a umidade no solo está entre 75% da água útil e a capacidade de campo. Neste nível, as plantas extraem água do solo com um mínimo gasto energético.

O nível de déficit leve acontece quando a umidade do solo está entre 50% e 75% da capacidade de campo e a extração da água pelas plantas decresce, principalmente pelo maior gasto energético.

O nível de déficit severo ocorre quando o conteúdo de umidade do solo é menor que 50% da capacidade de campo. Neste nível, o perfil do solo que é explorado pelas raízes não têm água facilmente aproveitável (WWF, 2009).

## 2.6. Fatores abióticos e os metabólitos especializados em plantas aromáticas

### 2.6.1. Déficit hídrico em plantas aromáticas

Com relação à demanda hídrica, as plantas aromáticas classificam-se em dois grupos: plantas tolerantes à seca, como *Thymus vulgaris* L e *Rosmarinus officinalis* L; e plantas exigentes em água como *Menha* sp. (1300 a 2000mm /ano) (DWECK, 2009).

A composição química dos óleos essenciais em plantas aromáticas depende da espécie vegetal, ocorrência de déficit hídrico e época de colheita, entre outros. Esses fatores abióticos devem ser considerados antes de estabelecer um projeto agroindustrial para produção de óleos essenciais de plantas aromáticas (SCHMIDT, 2010; FIGUEIREDO et al., 2008).

Bettaieb et al. (2009), estudando o efeito do déficit hídrico na composição química do óleo essencial e ácidos graxos em plantas de *Cuminum cyminum*, verificaram que as plantas sob déficit hídrico diminuíram o seu crescimento, biomassa vegetal, partes aéreas e teores de ácidos graxos.

Na Costa Rica, a distribuição geográfica da espécie *Lippia alba* resulta em diversidade de características morfológicas. As plantas podem apresentar hábito de crescimento ereto ou semi ereto, ramos com entrenós curtos ou longos e folhas pequenas ou compridas (OCAMPO e VALVERDE, 2000).

Fatores abióticos, como déficit hídrico, podem afetar a morfologia, produção de biomassa, desempenho agrônomo e composição química dos óleos essenciais das plantas aromáticas (FIGUEIREDO et al., 2014 ; SCHMIDT, 2010).

O déficit hídrico reduz a abertura estomática e diminui a quantidade de assimilados necessários para a formação de órgãos de reserva (FAO, 2014).

### 2.6.2. Época de corte em plantas aromáticas

Ao se realizar o corte da planta, o fornecimento de água é interrompido e iniciam-se processos oxidativos, enzimáticos ou ataque de microrganismos. Após a colheita as características organolépticas da fragrância podem ser modificadas, motivo pelo qual é importante realizar o beneficiamento rápido do material vegetal visando obter maiores rendimentos e menores perdas (SCHMIDT, 2010).

No Brasil, Jannuzzi (2006) avaliou o teor e a composição química do óleo essencial utilizando dezesseis acessos de *Lippia alba* com diferentes hábitos de

crescimento (decumbente, prostrado e ereto), oriundos da coleção da Universidade de Brasília, e cultivados em experimento em campo em latossolo vermelho sob irrigação por gotejamento. Foi realizada a colheita na estação de verão, com destaque para o acesso L16, pelos maiores rendimentos de óleo essencial (0,83%) e do composto majoritário linalol (89,80%) quando comparado com os acessos L-01, L-04, L-24, L-25, L-28 e L- 29 que também foram identificados como potenciais desta substância.

Na Argentina, Blanco (2014) estudou a influência da época de colheita na produção de biomassa, rendimento e composição química do óleo essencial de quatro quimiotipos da espécie *Lippia alba*, oriundos de Argentina, Uruguai e Peru (citral, carvona e linalol, respectivamente). No caso específico do quimiotipo linalol foram observados os maiores valores de produção de matéria seca da folha  $\text{Kg.ha}^{-1}$  na colheita da planta efetuada no final da primavera (dezembro), quando comparada com as plantas colhidas no final da estação de verão (março). Foram observados maiores teores de óleo essencial nas plantas colhidas no final da estação de verão (1,4%), quando comparadas com as plantas colhidas no final da primavera (1,2%).

Segundo Figueiredo et al. (2014), a época de colheita é específica para cada espécie aromática. A colheita da planta ou da parte utilizada (folha, flor, raiz) deve ser realizada quando houver o maior rendimento de óleo essencial e substâncias químicas de interesse para a indústria.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material vegetal e preparação das mudas

O material vegetal utilizado no estudo é oriundo de clones de *Lippia alba*, quimiotipo linalol, pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético do Centro de Pesquisa de Recursos Genéticos Vegetais do Instituto Agronômico (IAC).

As mudas foram produzidas em casa de vegetação no Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas-FCA, da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu - SP, localizada na latitude 22° 50' 48" Sul e longitude 48° 26' 06" oeste.

As mudas de *Lippia alba* foram propagadas vegetativamente a partir de estacas de comprimento de 20 cm, com presença de três a cinco nós sem folhas, obtidas da parte aérea da planta matriz adulta com o uso de tesoura de poda (Biasi e Costa, 2003).

As estacas de erva-cidreira foram enraizadas em sacos plásticos de polietileno de 12 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento com substrato comercial (Carolina®). O tempo de enraizamento das estacas foi de 45 dias (janeiro 4 a fevereiro 18 de 2018).

#### 3.2. Localidade e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em sistema orgânico de produção, na área do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu - SP, cujas coordenadas geográficas são 22° 51' 03" Sul e 48° 25' 37" oeste, e altitude de 786 m acima do nível do mar.

O solo adotado no preenchimento dos vasos foi proveniente de um Latossolo vermelho distrófico (textura média) da Fazenda Lageado, localizada em Botucatu-SP. Foram coletadas amostras deste solo e enviadas ao Laboratório de Solos da FCA - UNESP para realizar as análises químicas e físicas, conforme metodologias descritas por (RAIJ et al., 2001; Claessen, 1997). Os resultados obtidos das análises física e química do solo foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4.1; M.O (g/dm<sup>3</sup>) 16; Presina (mg/dm<sup>3</sup>) 4; H+Al (mmolc/dm<sup>3</sup>) 77; K (mmolc/dm<sup>3</sup>): 0,7; Ca (mmolc /dm<sup>3</sup>): 3; Mg (mmolc /dm<sup>3</sup>):1; SB(mmolc/dm<sup>3</sup>): 4; CTC (mmolc /dm<sup>3</sup>): 81; V (%): 5; areia (grossa): 306; (fina): 346; areia (total): 652; argila: 291e Silte: 57.

Foi realizada a correção de saturação de bases, V (%), elevando-se até 80% com a adição de calcário dolomítico (PRNT 98%).

O plantio definitivo das mudas foi efetuado manualmente no dia 18 de fevereiro de 2018, sendo colocada uma muda por vaso de 20 L.

O substrato utilizado foi uma mistura de Latossolo vermelho distrófico (textura média) da Fazenda Lageado + composto orgânico comercial (PROVASO®), relação 2:1.

O espaçamento adotado foi de 0,5 m entre plantas e 1 m entre linhas, o que caracteriza uma população de 20.000 plantas.ha<sup>-1</sup> (JUNIOR et al., 2006).

A poda de formação das plantas foi efetuada (20 de março de 2018) aos 30 dias após transplântio das mudas nos vasos.

Foi escolhida a bifurcação principal e fez-se o desponte do meristema apical a 25cm do comprimento. Em seguida, foi realizado o corte de todos os ramos a partir de 1cm do primeiro nó de cada ramo e retiraram-se os brotos localizados acima e abaixo da bifurcação.

O manejo das plantas espontâneas foi realizado manualmente e não houve aplicação de produtos fitossanitários.

Para a coleta de dados de temperatura e da umidade relativa do ar (Tabela 1), foi instalada na casa de vegetação durante a condução do experimento uma estação meteorológica com um coletor automático digital de dados (Datalogger Campbell ® - modelo CR10X). (Tabela 1).

**Tabela 1 - Valores da temperatura e umidade relativa média do ar (24 horas) nos quatro períodos de crescimento que antecederam aos cortes**

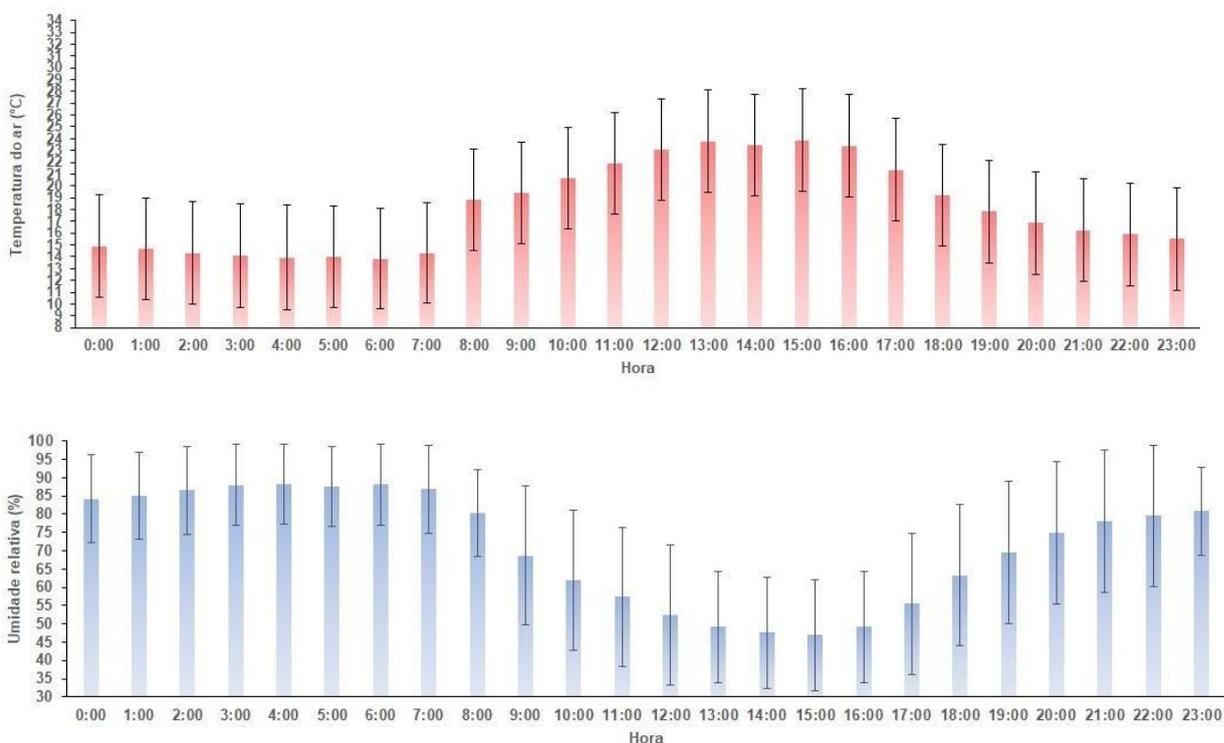
| Variável                    | Corte (Dias após a poda de formação) |                       |                        |                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
|                             | Primeiro<br>(90 DAPF)                | Segundo<br>(180 DAPF) | Terceiro<br>(270 DAPF) | Quarto<br>(360 DAPF) |
| <b>Temperatura (°C)</b>     | 13,85 a 23,86                        | 14,66 a 22,10         | 18,50 a 27,58          | 19,05 a 27,11        |
| <b>Umidade relativa (%)</b> | 47,01 a 88,14                        | 59,50 a 86,50         | 56,65 a 89,54          | 61,06 a 91,55        |

DAPF: dias após a poda de formação

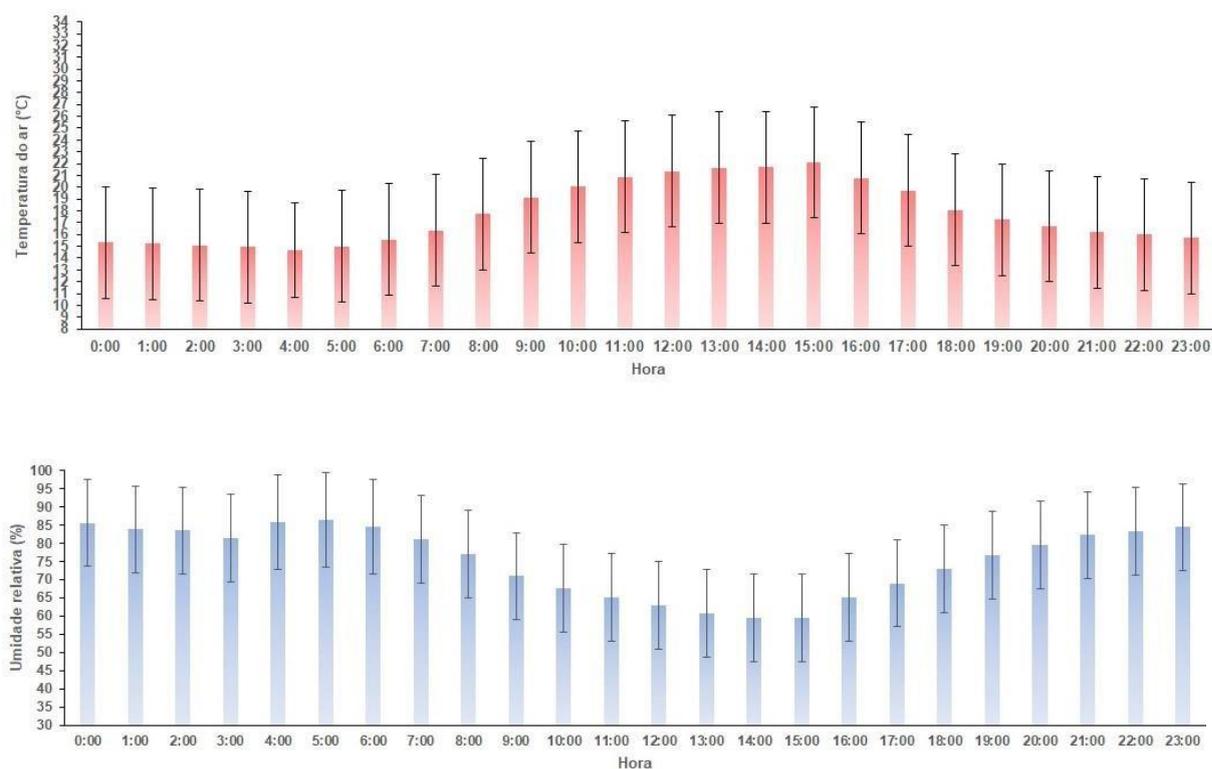
Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentados os valores médios da variação diurna e noturna diária (24h) da temperatura do ar e umidade relativa do ar, nos quatro períodos de crescimento que antecederam aos cortes.

Para a estimativa da evaporação e controle da irrigação durante a condução do experimento foi utilizado um tanque Classe A.

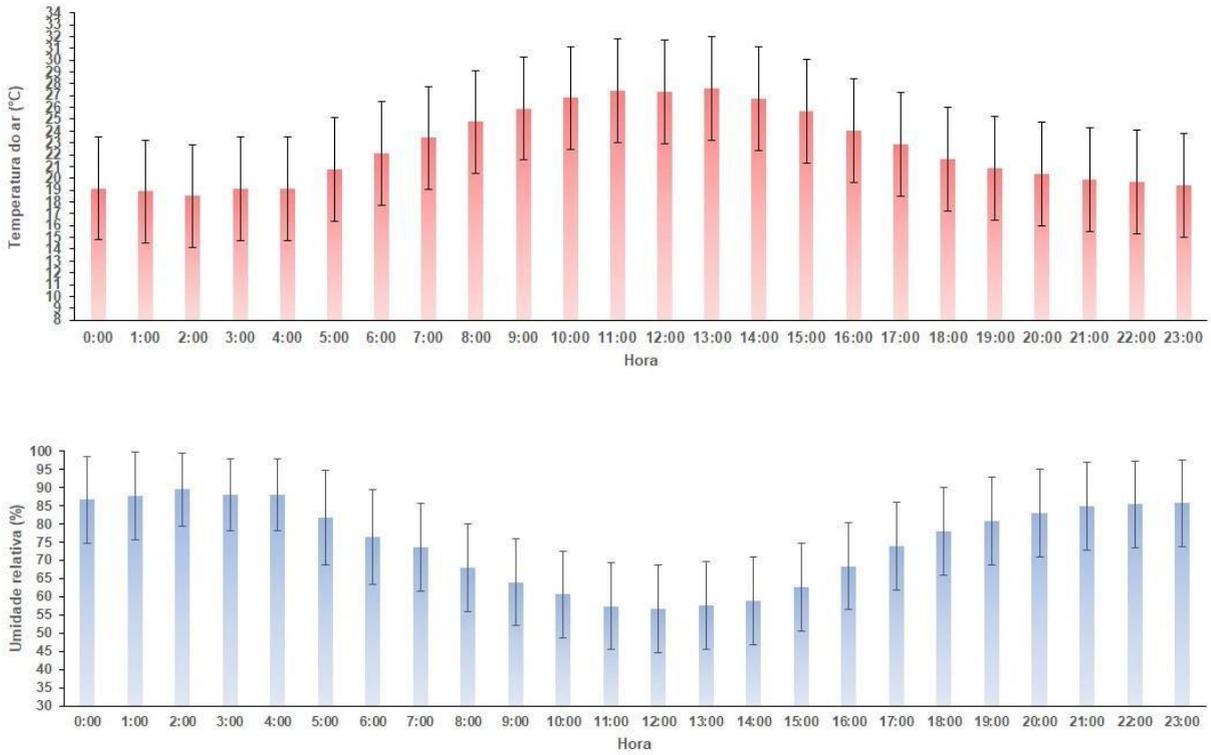
**Figura 2 – Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho / 2018) que antecedeu ao primeiro corte efetuado em 18 de julho de 2018, aos 90 (DAPF)**



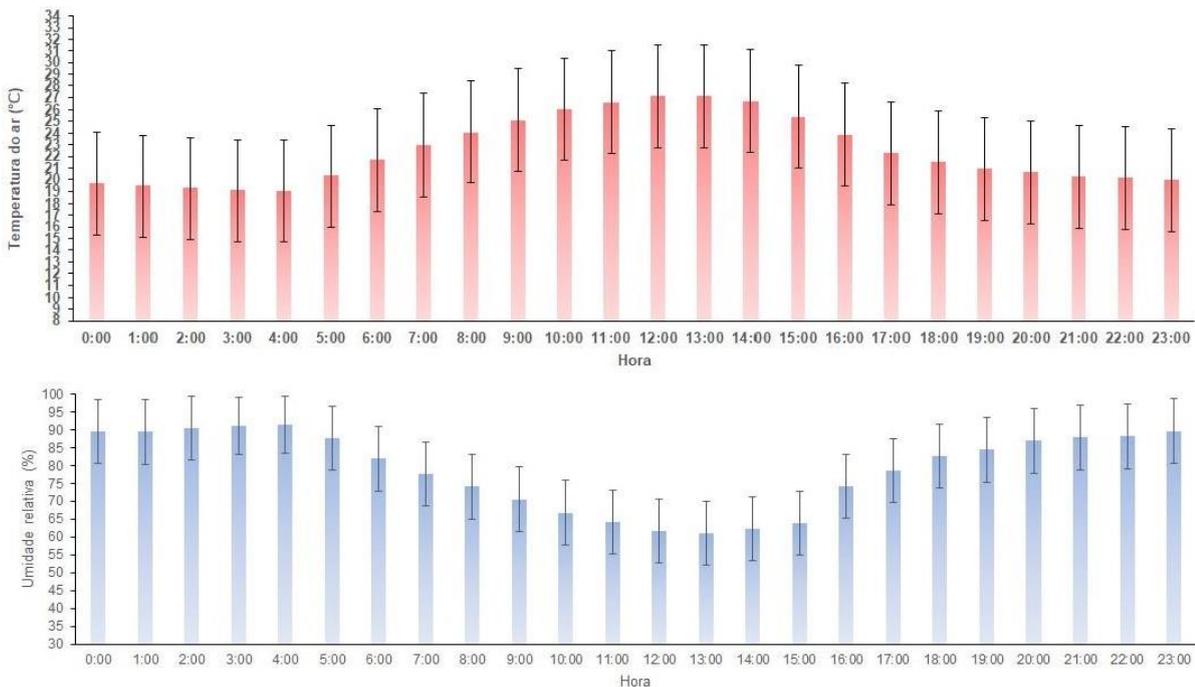
**Figura 3 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro/2018) que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 (DAPF)**



**Figura 4 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (15 outubro a 11 de janeiro/2019) que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 (DAPF)**



**Figura 5 - Valores médios da temperatura e umidade relativa média do ar, ao longo de 24 horas, registrados durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril /2019) que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 (DAPF)**



### 3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado sendo os tratamentos quatro lâminas de irrigação: 50% da  $ET_0$ , 75%  $ET_0$ , 100%  $ET_0$  e 125% da  $ET_0$ , com 4 repetições e 10 plantas úteis por parcela.

### 3.4. Controle das lâminas de irrigação

A água utilizada na irrigação foi classificada como sendo C1S1 (sem restrições para irrigação), (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008; BERNARDO et al., 2008 (Tabela 2)).

**Tabela 2 - Características químicas da água utilizada para irrigação do experimento**

| pH                    | N | P | K  | Ca | Mg | S | Na   | B | Cu | Fe   | Mn | Zn | C.E  |
|-----------------------|---|---|----|----|----|---|------|---|----|------|----|----|--|
| (mg L <sup>-1</sup> ) |   |   |    |    |    |   |      |   |    |      |    |    | (m <sub>s</sub> C <sub>s</sub> <sup>-1</sup> ) |
| 7,32                  | 4 | 1 | 22 | 18 | 10 | 5 | 3,80 | 0 | 0  | 0,16 | 0  | 0  | 0,073  |

Fonte Laboratório de nutrição de plantas, FCA, UNESP, n=3.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento com gotejador PCJ autocompensante modelo PCJ (NETAFIM®) e vazão de 2L/h por vaso, o qual foi conectado às linhas laterais de 25 mm através de microtubos de 16mm. Para a pressurização do sistema de irrigação, foi usada uma bomba de irrigação de 0,5 HP de potência e altura manométrica de recalque tota (mca) qde 30.

O teste de uniformidade do sistema foi realizado em bancada de ensaios e calculada a uniformidade da aplicação da água pela equação de uniformidade de Christiansen – CUC, conforme norma da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, (2004). O teste de uniformidade foi de 98,5% sendo classificado como excelente, de acordo com MANTOVAVI (2001),.

A irrigação de cada tratamento foi realizada com base na evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) obtida indiretamente utilizando a evaporação estimada pelo Tanque Classe A (Equações 1 e 2):

$$ET_0 = ECA * K_p \quad (1)$$

Em que:

$ET_0$  - Evapotranspiração de referência, mm.d<sup>-1</sup>;

ECA – Evaporação do tanque classe A, mm.d<sup>-1</sup>;

$K_p$  – Coeficiente do tanque classe A.

O coeficiente do tanque classe A ( $K_p$ ), foi estimado pela equação Snyder, (1992)

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(B) - 0,000376U + 0,0045UR \quad (2)$$

Em que:

B – Bordadura do tanque classe A, em m;

U – Velocidade do vento no Tanque Classe A, Km/d;

UR – Umidade relativa do ar, em %.

### 3.5. Corte e beneficiamento do material vegetal

Durante o experimento foram efetuados quatro cortes: 90 dias após a poda de formação - DAPF (18 de julho de 2018), 180 DAPF (15 de outubro de 2018), 270 DAPF (12 de janeiro de 2019) e 360 DAPF (11 de abril de 2019).

Os ramos das 10 plantas úteis de cada parcela foram cortados a partir de 1 cm do primeiro nó de cada ramo, às 6 horas da manhã, com o auxílio de tesouras de poda.

As 10 plantas úteis de cada parcela foram acondicionadas individualmente em sacos perfurados de papel do tipo kraft e levadas ao Laboratório de Pós-colheita do Departamento de Horticultura da FCA, Campus Botucatu - SP para o rápido beneficiamento do material vegetal.

### 3.6. Secagem do material vegetal

As folhas e ramos foram separados individualmente e colocados em sacos perfurados de papel do tipo kraft nas estufas de circulação forçada de ar, com temperatura controlada a 40°C, até atingirem peso constante (JUNIOR et al., 2006).

### 3.7. Características agronômicas avaliadas

Após a etapa de secagem foi determinada a produção total de matéria seca das folhas (PTMSF), produção total de matéria seca dos caules (PTMSC), produção total de matéria seca da parte aérea (PTMSPA) e rendimento das folhas (RDF).

O rendimento das folhas por planta foi obtido pela fórmula:  $RDF = (PTMSF / PTMSPA) \times 100$ . Os resultados foram expressos em %.

### 3.8. Extração e rendimento do óleo essencial das folhas (ROE)

A extração do óleo essencial foi efetuada por hidrodestilação em aparato tipo Clevenger. Foram utilizados 100,0 gramas de biomassa seca das folhas em 1,5L de

água destilada em balão de 2L e o óleo essencial extraído por 90 minutos. O rendimento de óleo essencial foi determinado com base em 100 gramas de biomassa seca de folhas.

Após a extração, os óleos essenciais foram armazenados em frascos de vidro com tampa de rosca/batoque e mantidos em freezer a 4°C.

### **3.9. Produção de óleo essencial por planta (POE)**

A produção de óleo essencial em gramas por planta (POE) foi calculada utilizando a equação:

$$POE = PTMSF \times (ROE/100). \quad (3)$$

Em que

PTMSF= produção total de matéria seca das folhas.

ROE= rendimento de óleo essencial (%)

Os resultados foram expressos em g de óleo essencial por planta.

### **3.10. Caracterização da composição química do óleo essencial**

#### **3.10.1. Composição Química do Óleo essencial**

A separação e a quantificação (método de normalização de área) das substâncias dos óleos essenciais foram realizadas em cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama (CG-DIC, Shimadzu, GC2010/AOC-20i) dotado de coluna capilar de sílica fundida DB-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), hélio como gás de arraste (1,0 mL min<sup>-1</sup>), modo de injeção Split (1/20) e detector a 280 °C. O óleo essencial (1mg) foi diluído em 1mL de acetato de etila (Tedia, grau cromatográfico) e injetado 1 µL de solução no seguinte programa de temperatura: 60°C - 240°C, 3°C.min<sup>-1</sup>.

A identificação das substâncias foi realizada em cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas (CG-EM, Shimadzu, QP-5000) operando a 70 eV, injetor a 230 °C, detector a 240 °C, dotado de coluna capilar de sílica fundida OV-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) e hélio como gás de arraste (1,0 mL.min<sup>-1</sup>) nas mesmas condições cromatográficas do CG-DIC.

A identificação dos constituintes químicos foi obtida por meio da análise comparativa dos espectros de massas das substâncias com o banco de dados do sistema CG-EM (Nist 62.lib) e índice de retenção linear (IRL) com a literatura (ADAMS, 2017).

O índice de retenção linear foi obtido por meio da injeção de uma série homóloga de n-alcenos ( $C_9$ - $C_{25}$ ) nas mesmas condições cromatográficas dos óleos essenciais, aplicando-se a equação de Van den Dool e Kratz (1963).

### **3.11. Análises estatísticas**

As características agronômicas e a composição química dos óleos essenciais foram submetidas à análise de variância, complementadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Aos resultados de composição química dos óleos essenciais foi aplicada análise multivariada. Foi utilizado o programa computacional AgroEstat.

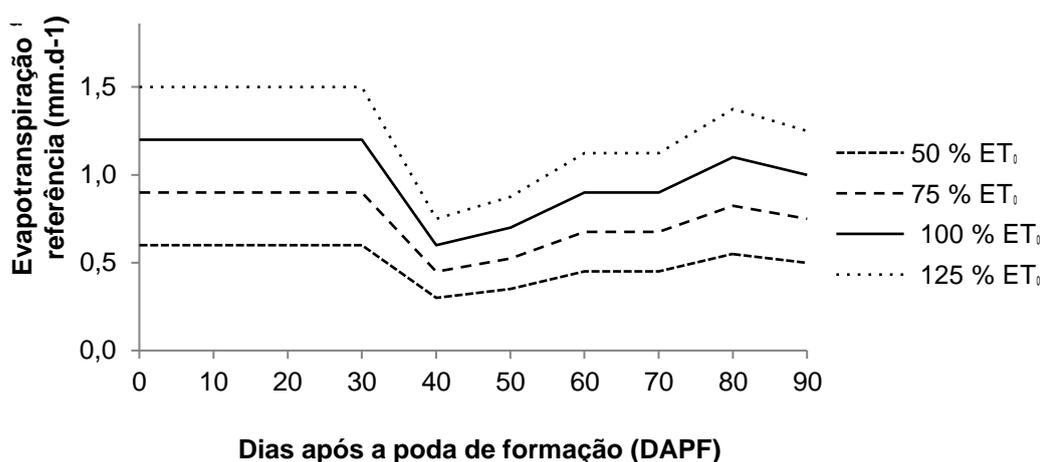
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Evapotranspiração de referência - $ET_0$ (mm/d) e demanda acumulada de água (mm)**

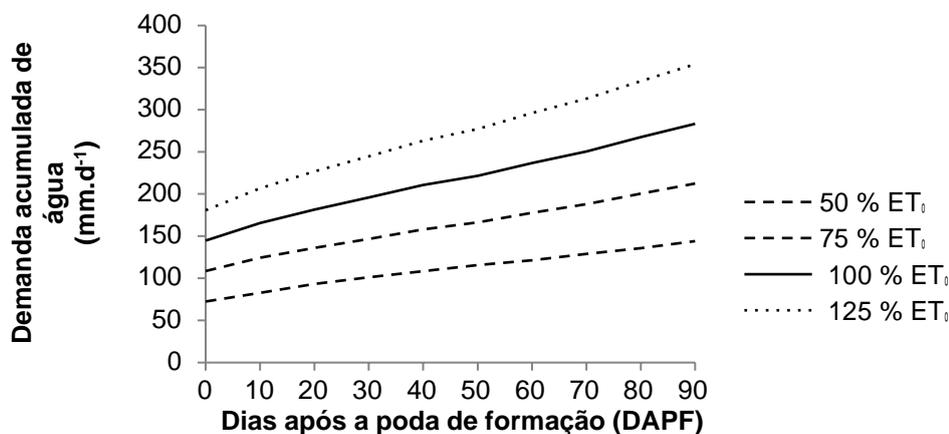
A aplicação das lâminas de irrigação de cada tratamento foi efetuada com base na evapotranspiração de referência medida, indiretamente, via tanque classe A ( $ET_0$ ). Para o primeiro corte efetuado em 18 de julho de 2018, aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) registrados dentro da casa de vegetação variaram de 0,6 a 1,49  $mm.d^{-1}$ , sendo o valor médio de

1,0 mm.d<sup>-1</sup>. A demanda de água acumulada para o primeiro corte foi de 139,0 mm (Figuras 6 e 7).

**Figura 6 - Evapotranspiração de referência  $ET_0$  (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação, durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho /2018) que antecedeu ao corte efetuado o 18 de julho de 2018, aos 90 DAPF**



**Figura 7 - Demanda acumulada de água (mm) durante o período de crescimento (19 de abril a 17 de julho de 2018), que antecedeu ao corte efetuado em 18 de julho de 2018, aos 90 DAPF**



No segundo corte, efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 DAPF, os valores de  $ET_0$  registrados dentro da casa de vegetação variaram de 0,80 a 2,13 mm.d<sup>-1</sup>, sendo o valor médio de 1,1 mm.d<sup>-1</sup>. A demanda de água acumulada para o segundo corte foi de 168,0 mm (Figuras 8 e 9).

**Figura 8 - Evapotranspiração de referência  $ET_0$  (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação, durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro /2018) que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 DAPF**

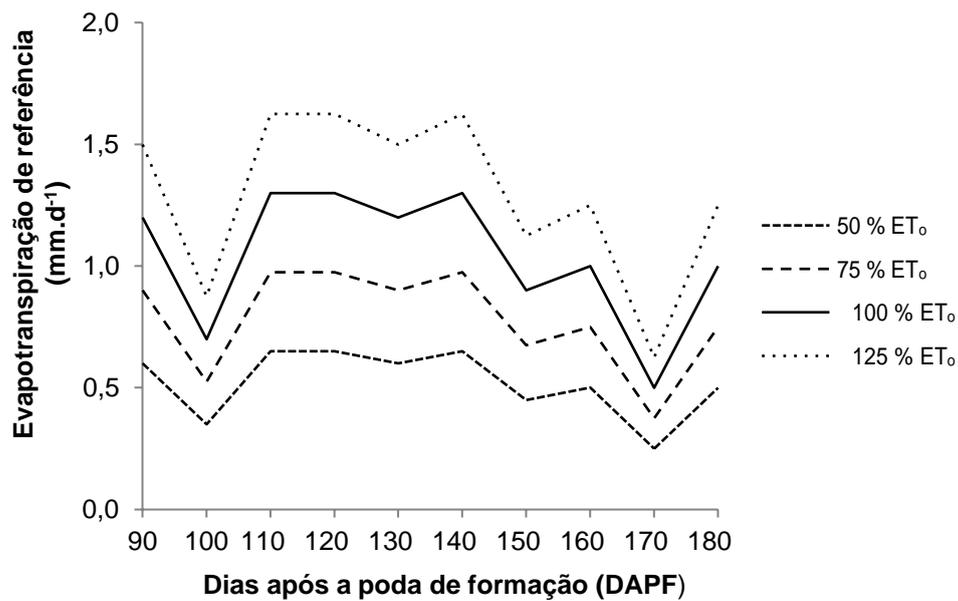
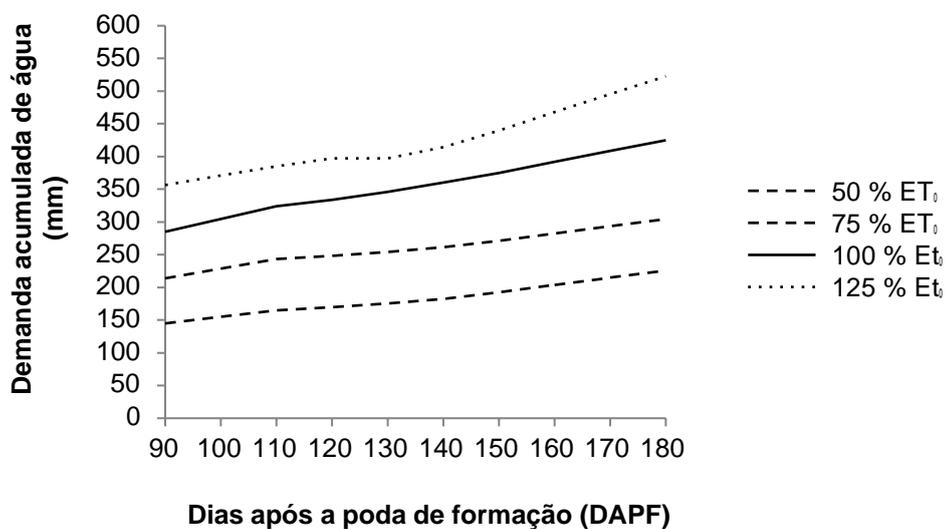


Figura 9 - Demanda acumulada de água (mm) durante o período de crescimento (18 de julho a 14 de outubro/2018), que antecedeu ao segundo corte efetuado em 15 de outubro de 2018, aos 180 DAPF



No terceiro corte, efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 DAPF, os valores de ET<sub>0</sub> registrados dentro da casa de vegetação variaram de 0,12 a 2,44 mm.d<sup>-1</sup>, sendo o valor médio de 1,2 mm.d<sup>-1</sup>. A demanda de água acumulada para o terceiro corte foi de 211,0 mm (Figuras 10 e 11).

Figura 10 - Evapotranspiração de referência  $ET_0$  (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação durante o período de crescimento (15 de outubro de 2018 a 11 de janeiro de 2019), que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 DAPF

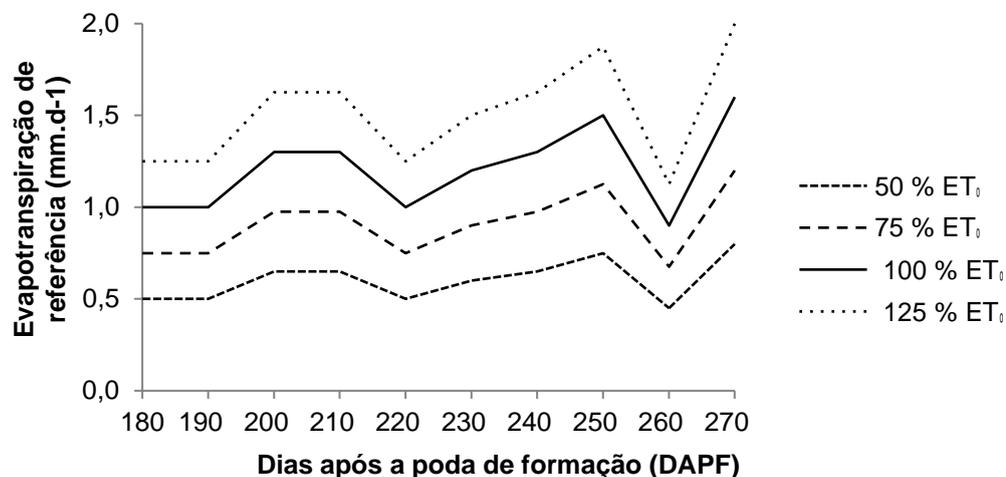
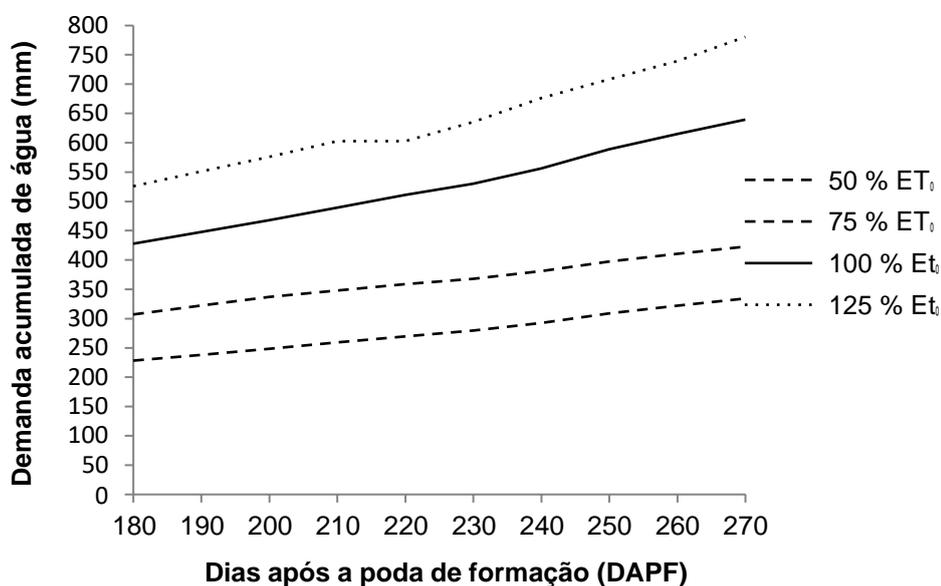


Figura 11 - Demanda de água acumulada (mm) (270 DAPF) durante o período de crescimento (15 de outubro de 2018 a 11 de janeiro de 2019), que antecedeu ao terceiro corte efetuado em 12 de janeiro de 2019, aos 270 DAPF



No quarto corte, efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 DAPF, os valores de  $ET_0$  registrados dentro da casa de vegetação variaram de 0,20 a 2,34  $\text{mm.d}^{-1}$ , sendo o valor médio de 1,0  $\text{mm.d}^{-1}$ . A demanda de água acumulada para o quarto corte foi de 216,0 mm (Figuras 12 e 13).

Figura 12 - Evapotranspiração de referência  $ET_0$  (mm/d) registrada no interior da casa de vegetação durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril de 2019), que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 DAPF

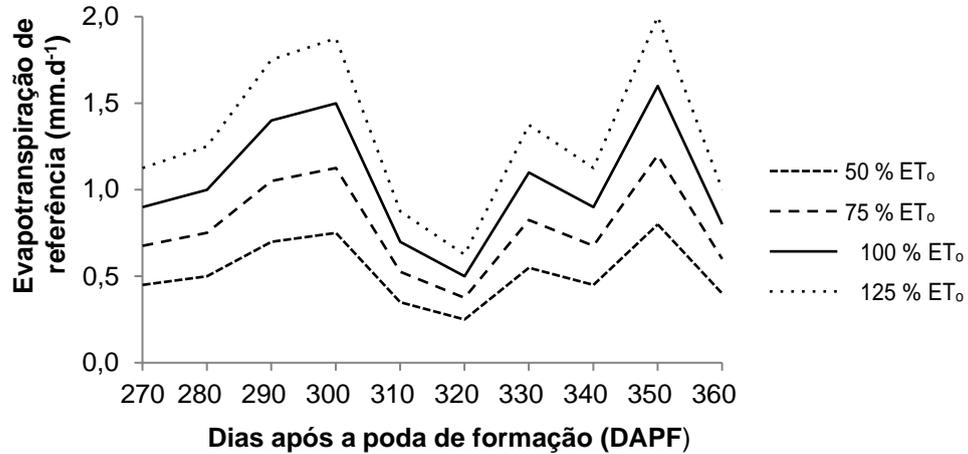
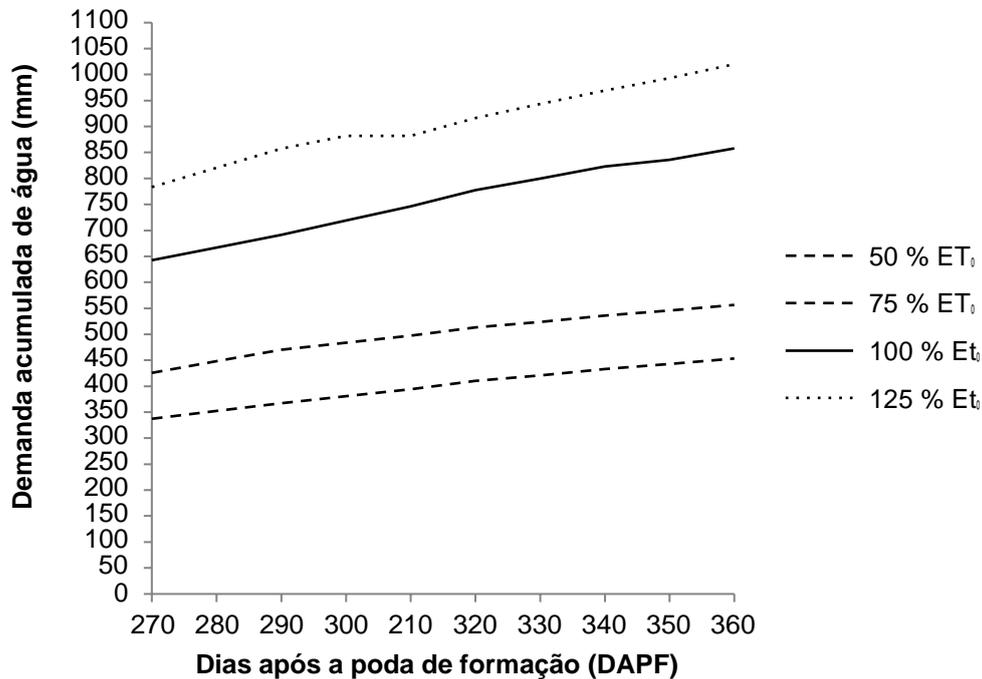


Figura 13 - Demanda de água acumulada (mm) durante o período de crescimento (12 de janeiro a 10 de abril de 2019), que antecedeu ao quarto corte efetuado em 11 de abril de 2019, aos 360 DAPF



#### 4.2. Características agronômicas

Foi observado nos quatro cortes realizados que as lâminas de irrigação influenciaram significativamente para as variáveis produção total de matéria seca das folhas (PTMSF), produção total de matéria seca dos caules (PTMSC), produção total

de matéria seca da parte aérea (PTMSPA), rendimento das folhas (RDF), rendimento do óleo essencial (ROE) e produção de óleo essencial por planta (POE).

#### 4.2.1. Produção total de matéria seca das folhas (PTMSF)

As médias de produção total de matéria seca das folhas (PTMSF) nos quatro cortes realizados variaram de 4,53 até 19,38 g/planta (Tabela 3).

**Tabela 3 - Produção total de matéria seca das folhas - PTMSF (g/planta) de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação (% da ET <sub>0</sub> ) | PTMSF(g/planta)                      |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50   | 4,53 d                               | 7,82 d           | 6,13 d            | 4,50 c          |
| 75   | 9,17 a                               | 9,43 c           | 10,48 c           | 7,01 b          |
| 100  | 5,81 c                               | 19,38 a          | 11,70 b           | 7,02 b          |
| 125  | 8,40 b                               | 15,70 b          | 17,11 a           | 9,89 a          |
| CV%  | 6,99                                 | 4,82             | 4,68              | 9,60            |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte efetuado em julho de 2018, aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os manejos da irrigação com base em 75% da ET<sub>0</sub> (9,17 g/planta) e em 125% da ET<sub>0</sub> (8,40 g/planta) resultaram nos maiores valores de PTMSF que apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 3). Houve decréscimo de 22% na PTMSF no primeiro corte com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (4,53 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da ET<sub>0</sub> (5,81 g/planta), que diferiram entre si.

No primeiro corte foi observado incremento de 58% na PTMSF com o manejo da irrigação com base em 75% da ET<sub>0</sub> (9,17 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (5,81 g/planta) que diferiram entre si.

No segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, os manejos da irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> (19,38 g/planta) e em 125% da ET<sub>0</sub> (15,70 g/planta) resultaram nos maiores valores de PTMSF, que apresentaram diferença estatística significativa.

Houve decréscimo de 61% na PTMSF no segundo corte com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (7,82 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da ET<sub>0</sub> (19,38 g/planta), que diferiram entre si.

No segundo corte foi observado incremento de 105% na PTMSF com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (19,38 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 75% da  $ET_0$  (9,43 g/planta), que diferiram entre si. que diferiram entre si.

No terceiro corte efetuado em janeiro de 2019, aos 270 (DAPF), os manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (17,11 g/ planta) e em 100% da  $ET_0$  (11,70 g/planta) resultaram nos maiores valores de PTMSF, que apresentaram diferença estatística significativa. Houve decréscimo de 48% na PTMSF no terceiro corte com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (6,13 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (11,70 g/planta), que diferiram entre si.

No terceiro corte foi verificado incremento de 46% na PTMSF com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (17,11 g/planta) quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (11,70 g/planta), que diferiram entre si (Tabela 3).

No quarto corte efetuado em abril de 2019, aos 360 (DAPF), os manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (9,89 g/planta) e em 125% da  $ET_0$  (7,02 g/ planta) resultaram nos maiores valores de PTMSF que apresentaram diferença estatística significativa. Houve decréscimo de 35% na PTMSF no quarto corte com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (4,50 g/planta) quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (7,02 g/planta) que diferiram entre si.

No quarto corte não foi observado incremento na PTMSF com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (7,02 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 75% da  $ET_0$  (7,01 g/planta), que não apresentaram diferença estatística entre si.

Os maiores valores de PTMSF foram observados no segundo corte efetuado em outubro de 2018, aos 180 DAPF (19,38 g/planta) e terceiro corte efetuado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF (17,11g/planta), com as lâminas de irrigação de 100% da  $ET_0$  e 125% da  $ET_0$ , respectivamente.

Foi verificado que no segundo corte (180 DAPF) e terceiro corte (270 DAPF), em todas as lâminas de irrigação avaliadas, os valores da PTMSF foram superiores aos observados no primeiro corte efetuado em julho de 2018 aos 90 (DAPF) e no quarto corte efetuado em abril de 2019 aos 360 (DAPF).

No Brasil, Castro et al. (2002) avaliando a produção de biomassa em *Lippia alba*, observaram na colheita de verão incrementos de 22% e 42% quando comparados

com a biomassa foliar obtida na colheita efetuada no outono (abril) e no inverno (julho), respectivamente.

Na Colômbia, Camargo et al. (2008) avaliaram, em condições de casa de vegetação, a plasticidade fenotípica de genótipos da espécie *Lippia alba* em função da disponibilidade de água no solo. O estudo demonstrou variações na produção de biomassa com o aumento crescente do conteúdo de água no solo, havendo respostas no crescimento vegetativo. A mesma tendência foi observada neste estudo no terceiro (270 DAP) e quarto corte (360 DAPF).

Vários são os mecanismos evolutivos pelos quais as espécies podem sobreviver em condições de déficit hídrico. Existem espécies que sob déficit hídrico podem apresentar rápido crescimento fenológico e outras espécies que diminuem a perda de água pela alta resistência de seus estômatos, cutícula, além da manutenção da absorção da água decorrente de um sistema radicular profundo e denso ou pela sua tolerância à desidratação ou dessecação (LOPEZ e DE SOUZA LIMA, 2015).

Em culturas agrícolas a diminuição no rendimento e qualidade da colheita dependem da falta de água e época do cultivo na qual acontece o déficit hídrico. É necessário conhecer essas etapas de máxima sensibilidade à falta de água visando estabelecer estratégias de irrigação de déficit hídrico controlado, em regiões onde a disponibilidade de água é escassa (WWF, 2009).

#### 4.2.2. Produção total de matéria seca dos caules (PTMSC)

Para a característica produção total de matéria seca dos caules (PTMSC), nos quatro cortes realizados, as médias variaram de 1,03 até 61,55 g/planta (Tabela 4).

**Tabela 4 - Produção total de matéria seca dos caules - PTMSC (g/planta) de *Lippia alba* em função das Lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação (% da ET <sub>o</sub> ) | PTMSC (g/planta)                     |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50   | 1,71 d                               | 29,95 d          | 1,58 d            | 1,03 c          |
| 75   | 5,01 a                               | 36,92 c          | 4,20 c            | 2,08 b          |
| 100  | 2,57 c                               | 47,35 b          | 8,56 b            | 2,62 b          |
| 125  | 4,30 b                               | 61,55 a          | 10,55 a           | 4,38 a          |
| CV%  | 10,64                                | 7,23             | 10,30             | 24,18           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste

No primeiro corte efetuado em julho de 2018, aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os maiores valores de PTMSC corresponderam aos manejos da irrigação

com base em 75% da  $ET_0$  (5,01 g/planta) e em 125% da  $ET_0$  (4,30 g/planta), que apresentaram diferença estatística significativa entre si.

No primeiro corte houve decréscimo de 33% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (1,71 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (2,57 g/planta), tendo diferidos entre si.

No primeiro corte foi observado incremento de 94% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (5,01 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (2,57 g/planta), que diferiram entre si.

No segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 180 (DAPF), os maiores valores de PTMSC corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (47,35 g/planta) e em 125% da  $ET_0$  (61,55 g/planta), que apresentaram diferença estatística significativa.

No segundo corte houve decréscimo de 37% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (29,95 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (47,35 g/planta), que diferiram entre si (Tabela 4).

No segundo corte foi observado incremento de 23% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (61,55 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (47,35 g/planta), que diferiram entre si.

No terceiro corte realizado em janeiro de 2019, aos 270 (DAPF), os maiores valores de PTMSC corresponderam ao manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (8,56 g/planta) e 125% da  $ET_0$  (10,55 g/planta), que apresentaram diferença estatística significativa.

No terceiro corte houve decréscimo de 81% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (1,58 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (8,56 g/planta), que diferiram entre si.

No terceiro corte foi observado incremento de 23% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (10,55 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (8,56 g/planta), que diferiram entre si.

No quarto corte efetuado em abril de 2019, aos 360 (DAPF), os manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (4,38 g/planta) e em 100% da  $ET_0$  (2,62 g/planta) resultaram nos maiores valores de PTMSC, que apresentaram diferença estatística significativa.

Houve decréscimo de 60% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (1,03 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (2,62 g/planta), que diferiram entre si.

No quarto corte foi observado incremento de 40% na PTMSC com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (4,38 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (2,62 g/planta), que diferiram entre si.

Os maiores valores de PTMSC foram observados no segundo corte efetuado em outubro de 2018, aos 270 DAPF (61,55 g/planta) e no terceiro corte, realizado em janeiro/2019, aos 270 DAPF (10,55 g/planta) com a lâmina de irrigação de 125% da  $ET_0$ .

Foi verificado no segundo corte efetuado em outubro de 2018, aos 180 (DAPF), que em todas as lâminas de irrigação avaliadas, os valores de PTMS foram superiores aos observados no primeiro, terceiro e quarto cortes realizados em julho de 2018, janeiro e abril de 2019, respectivamente.

No Irán, Baher et al. (2002) avaliram o efeito do déficit hídrico na produção de matéria seca e rendimento de óleo essencial de *Satureja hortensis L.*, verificando decréscimo de 50% na produção total de matéria seca dos caules quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico e incremento de 24% no rendimento de óleo essencial sendo observada a mesma tendencia no experimento.

Quando o conteúdo de água no solo varia entre 75% da água útil até a capacidade de campo (nível ótimo), as plantas extraem a água do solo com um mínimo gasto energético; quando o conteúdo de água no solo está entre 50 e 75% (déficit hídrico controlado), a extração de água pelas plantas decresce, principalmente pelo maior gasto energético (WWF, 2009).

#### **4.2.3. Produção total de matéria seca da parte aérea (PTMSPA)**

Para a característica produção total de matéria seca da parte aérea (PTMSPA), as médias variaram de 5,34 até 77,25 g/planta, considerando os quatro cortes realizados (Tabela 5).

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 (DAPF), houve decréscimo de 25% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (6,24 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (8,39 g/planta), que diferiram entre si.

**Tabela 5 - Produção total de matéria seca da parte aérea - PTMSPA (g/planta) de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação (% da ET <sub>0</sub> ) | PTMSPA (g/planta)                    |               |                |              |
|--|--------------------------------------|---------------|----------------|--------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |               |                |              |
|  | Primeiro (90)                        | Segundo (180) | Terceiro (270) | Quarto (360) |
| 50   | 6,24 d                               | 37,47 d       | 7,62 d         | 5,34 c       |
| 75   | 14,18 a                              | 46,35 c       | 14,68 c        | 9,09 b       |
| 100  | 8,39 c                               | 66,82 b       | 20,26 b        | 9,64 b       |
| 125  | 12,71 b                              | 77,25 a       | 27,66 a        | 14,24 a      |
| CV%  | 6,43                                 | 6,00          | 5,49           | 12,58        |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte foi observado incremento de 11% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 75% da ET<sub>0</sub> (14,18 g/planta), quando comparado com o manejo em 125% da ET<sub>0</sub> (12,71 g/planta), que diferiram entre si.

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, os maiores valores de PTMSPA corresponderam ao manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (77,25 g/planta) e 100% da ET<sub>0</sub> (66,82 g/planta), que apresentaram diferença estatística significativa.

No segundo corte houve decréscimo de 43% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (37,47 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da ET<sub>0</sub> (66,82 g/planta), que diferiram entre si.

No segundo corte foi observado incremento de 16% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (77,25 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (66,82 g/planta), que diferiram entre si.

No terceiro corte, efetuado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, os manejos da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (27,66 g/planta) e em 100% da ET<sub>0</sub> (20,26 g/planta) resultaram nos maiores valores de PTMSPA e que apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 5).

No terceiro corte houve decréscimo de 61% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (7,62 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da ET<sub>0</sub> (20,26 g/planta), que diferiram entre si. Neste corte foi observado incremento de 37% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (27,66 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (20,26 g/planta), que diferiram entre si.

No quarto corte, realizado em abril de 2019 aos 360 DAPF, os maiores valores de PTMSPA corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (14,24 g/planta) e 100% da  $ET_0$  (9,64 g/planta), que apresentaram diferença estatística significativa.

No quarto corte houve decréscimo de 44% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (5,34 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (9,64 g/planta), que diferiram entre si.

No quarto corte não houve decréscimo na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (9,09 g/planta), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (9,64 g/planta), que não diferiram entre si. Neste corte foi observado incremento de 48% na PTMSPA com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (14,24 g/planta), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (9,64 g/planta), que diferiram entre si.

Os maiores valores de PTMSPA foram observados no segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 270 DAPF (77,25 g/planta) e no terceiro corte realizado em janeiro/2019 aos 270 DAPF (27,66 g/planta), com a lâmina de irrigação de 125 % da  $ET_0$  (Tabela 5).

Estes resultados de PTMSPA diferem dos observados por Bettaieb et al., (2011) que estudaram o efeito do déficit hídrico na biomassa, composição de ácidos graxos e óleo essencial em *Cuminum cyminum*, e observaram acréscimos de 54% na produção total de matéria seca da parte aérea em plantas sob déficit hídrico quando comparada com o tratamento controle.

No segundo corte, efetuado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, os valores de PTMSPA, em todas as lâminas de irrigação avaliadas, foram superiores aos observados no primeiro, terceiro e quarto cortes realizados, respectivamente, em julho de 2018, janeiro e abril de 2019. No Iran, Rahmanl et al. (2009) avaliaram a produtividade de sementes em plantas de *Calêndula officinalis* L e observaram decréscimos em função do déficit hídrico.

Os fatores abióticos, como o déficit hídrico, trazem alterações na produtividade das culturas agrícolas pelo desbalanceamento que ocorre entre a produção de espécies reativas de oxigênio e a defesa antioxidante, o que induz o estresse oxidativo das proteínas, lipídios da membrana e outros componentes celulares.

Em condições de déficit hídrico, as plantas apresentam distúrbios no metabolismo, principalmente do carbono, nitrogênio e oxigênio, cargas de elétrons, componentes estruturais e atividade enzimática, devido à interferência no aparato fotossintético pela produção de espécies reativas de oxigênio (MOINUDDIN et al., 2012).

Na espécie *Lippia alba*, as variações de produção de biomassa estão relacionadas com processos fisiológicos. A planta emite folhas em processo continuado, ocorrendo maturação e senescência das folhas mais velhas, que acabam por secar ou cair dos ramos, afetando a produção de biomassa folhar (MING et al., 2016).

Em ambientes de cultivo onde ocorrem temperaturas excessivamente baixas ou extremadamente altas, as plantas hortícolas reduzem seu crescimento e desenvolvimento, e como consequência ocorrem alterações na sazonalidade, variações na produção de biomassa e qualidade do material vegetal obtidos (LORENZO, 2012).

#### 4.2.4. Rendimento das folhas (RDF)

O rendimento de folhas (RDF) variaram, em média, de 20,39 até 84,24%, considerando os quatro cortes realizados (Tabela 6).

**Tabela 6 - Rendimento das folhas - RDF (%) de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação (% da ET <sub>0</sub> ) | RDF(%)                               |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50   | 72,58 a                              | 20,76 b          | 79,51 a           | 84,24 a         |
| 75   | 64,68 b                              | 20,39 b          | 71,57 b           | 76,92 b         |
| 100  | 69,30 a                              | 29,07 a          | 57,79 d           | 72,90 b         |
| 125  | 66,17 b                              | 20,34 b          | 61,85 c           | 70,18 b         |
| CV%  | 3,39                                 | 6,11             | 3,33              | 5,86            |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte realizado em julho de 2018, aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os maiores valores de RDF corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (72,58%) e em 100% da ET<sub>0</sub> (69,30%), que não apresentaram diferença estatística significativa entre si. Houve incremento de 11% no RDF com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (72,58 g/planta), quando comparado com o manejo em 75 % da ET<sub>0</sub> (64,68 g/planta), que diferiram entre si (Tabela 6).

No segundo corte, efetuado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, os maiores valores de RDF corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (29,07%) e em 50% da  $ET_0$  (20,76%). Houve incremento de 40% no RDF no segundo corte com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (29,07%), quando comparado ao manejo com base em 50% da  $ET_0$  (20,75%), que diferiram entre si.

No terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, os manejos da irrigação com base em 50% (79,51%) e em 75% da  $ET_0$  (71,57%) corresponderam aos maiores valores de RDF, que diferiram entre si. Houve incremento de 37% no RDF no terceiro corte com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (79,51%), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (57,79%), que diferiram entre si.

No quarto corte, efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF, os manejos da irrigação com base em 50% (84,24%) e em 75% da  $ET_0$  (76,92%) resultaram nos maiores valores de RDF, que apresentaram diferença estatística significativa. Houve incremento de 16% no RDF no quarto corte com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (84,24%), quando comparado ao manejo com base em 100% da  $ET_0$  (72,90%), que diferiram entre si.

Os maiores valores de RDF% foram observados com a lâmina de irrigação de 50% da  $ET_0$  no quarto corte efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF (84,24%) e no terceiro corte realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF (79,51%). Esses valores de RDF são superiores aos observados no segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 270 DAPF, em todas as lâminas de irrigação avaliadas.

O manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência resultou nos maiores valores de PTMSPA e nos menores valores de RDF, no segundo corte aos 270 DAPF (outubro/2018), quando comparado com os outros cortes efetuados, ou seja, no segundo corte houve maior acúmulo de matéria seca nos ramos e menor produção de biomassa folhar.

A amplitude térmica no interior da casa de vegetação nos períodos de crescimento que antecederam aos quatro cortes efetuados aos 90, 180, 270 e 360 DAFP foram de 10,03 °C, 7,44 °C, 9,08 °C e 8,06 °C, respectivamente.

Houve menor amplitude térmica no período de crescimento que antecedeu ao segundo corte quando comparada com a amplitude térmica no primeiro, segundo e quarto cortes, condição que pode ter influenciado no acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta.

Em ambientes de cultivo que apresentam temperaturas excessivamente baixas ou extremadamente altas, ocorrem alterações na sazonalidade, variações na produção de biomassa e qualidade do material vegetal obtidos (LORENZO, 2012).

A demanda de água acumulada para o ciclo que antecedeu ao segundo corte foi de 168,0 mm. Houve incremento de 24% quando comparada à demanda de água acumulada que antecedeu ao primeiro corte. O suprimento de água para uma cultura depende das interações que se estabelecem no sistema solo-planta-atmosfera (SSPA). Quanto maior for a demanda evaporativa da atmosfera, maior será a necessidade do fluxo de água no sistema solo -planta-atmosfera.

Olmos et al. (2006) estudaram as relações hídricas em plantas de *Rosmarinus officinalis* sob condições de déficit hídrico e observaram nas folhas alterações anatômicas as quais estavam relacionadas com uma possível adaptação da espécie a ambientes com pouca disponibilidade de água. Sharifi (2017), avaliando o efeito do manejo da irrigação no crescimento em *Hyssopus officinalis*, observou decréscimos no acúmulo de biomassa em plantas sob déficit hídrico quando comparadas com o tratamento controle.

As variações de produção de biomassa em *Lippia alba* estão relacionadas com os processos fisiológicos. A planta emite folhas em processo continuado, ocorrendo maturação e senescência das folhas mais velhas, que acabam por secar ou cair dos ramos, afetando a produção de biomassa folhar, condição que foi observada no segundo corte que apresentou os menores rendimento das folhas (MING et al., 2016).

#### 4.2.5. Rendimento de óleo essencial das folhas (ROE)

As médias de rendimento de óleo essencial (ROE%) variaram de 0,69 até 1,03%, nos quatro cortes realizados (Tabela 7).

**Tabela 7- Rendimento de óleo essencial (%) das folhas de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação (% da ET <sub>0</sub> ) | ROE(%)                               |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50   | 0,94 a                               | 0,95 a           | 0,84 a            | 0,74 b          |
| 75   | 0,76 a                               | 1,02 a           | 0,90 a            | 1,03 a          |
| 100  | 0,82 a                               | 0,73 b           | 0,82 a            | 0,97 a          |
| 125  | 0,89 a                               | 0,69 b           | 0,79 a            | 0,79 b          |
| CV%  | 15,89                                | 21,30            | 12,80             | 10,22           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (0,94%) e em 100% da  $ET_0$  (0,89%) resultaram nos maiores valores de ROE, que não apresentaram diferença estatística significativa entre si.

Houve incremento no primeiro corte de 25% no ROE com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (0,94%), quando comparado com o manejo em 75 % da  $ET_0$  (0,76%), porém não diferiram entre si. Neste corte não houve diferença estatística significativa no ROE % em função das lâminas de irrigação (Tabela 7).

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 (DAPF), as médias de rendimento de óleo essencial variaram de 0,69 até 1,02%. Os maiores valores de ROE% corresponderam aos manejos da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,02%) e em 50% da  $ET_0$  (0,95%), que não apresentaram diferença estatística significativa. Neste corte foi observado incremento de 40% no ROE com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,02%) quando comparado ao manejo em 100% da  $ET_0$  (0,73%), que diferiram entre si.

No terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 (DAPF), os manejos da irrigação com base em 75 % da  $ET_0$  (0,90%) e em 50% (0,84%) resultaram nos maiores valores de ROE, que não apresentaram diferença estatística significativa. Entre os tratamentos manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (0,82%) e em 50% da  $ET_0$  (0,84%) não houve incremento de ROE. Neste corte não houve diferença significativa no ROE% em função das lâminas de irrigação.

No quarto corte, efetuado em abril de 2019 aos 360 (DAPF), as médias de rendimento de óleo essencial ROE % variaram de 0,79 até 1,03%. Os maiores valores de ROE% corresponderam aos manejos da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,03%) e em 100% da  $ET_0$  (0,97%), que não apresentaram diferença significativa.

No quarto corte foi observado incremento de 30% no ROE% com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,03%) quando comparado ao manejo com base em 125% da  $ET_0$  (0,79%), que apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 7).

Os maiores valores de rendimento de óleo essencial (ROE) em função das lâminas de irrigação foram observados no quarto corte, efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF(1,03%), e segundo corte realizado em outubro/2018 aos 270 DAPF (1,02%), ambos com a lâmina de irrigação de 75% da  $ET_0$ . Foi verificado no primeiro corte efetuado em julho de 2018 (aos 90 DAPF) e no terceiro corte realizado em

janeiro de 2019 (aos 270 DAPF) que não houve diferença significativa no ROE em função das lâminas de irrigação.

Na Colômbia, Guzman et al., (2004) avaliaram o desempenho agrônômico de *Lippia alba* em duas localidades com diferentes condições agrometeorológicas. No município de Villagorgona, a temperatura média registrada foi de 24,0 °C e umidade relativa do ar de 77,2%; e no município de Pereira, a temperatura média foi de 22,0 °C e a umidade relativa do ar de 75,7%. O rendimento do óleo essencial de *Lippia alba* no município de Villagorgona variou de 0,5 a 0,65% com aumento de 9,2% sobre o ROE% extraído das plantas cultivadas no município de Pereira, o qual variou de 0,3 a 0,5%.

Ricciardi et al. (2003) avaliaram o rendimento e composição química do óleo essencial de acessos de *Lippia alba* de diferentes origens geográficas, com os valores de ROE% variando de 0,34% (outono) a 0,61% (primaveira), sendo inferiores aos valores médios obtidos no presente estudo.

Farahani et al. (2009), avaliando o efeito do déficit hídrico no rendimento e composição química do óleo essencial de *Melissa officinalis* L., verificaram incremento de 53% no rendimento de óleo essencial quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico (60% da capacidade de campo), comparativamente com o tratamento controle (100%).

No Brasil, o rendimento de óleo essencial em 17 acessos de *Lippia alba* oriundos da coleção da Universidade de Brasília - UnB variou de 0,62% a 0,75 % (JANNUZZI et al.,2011).

Segundo Schmidt (2010), estresses causados por fatores abióticos como déficit hídrico podem ter efeito na ativação de defesas das plantas aromáticas aumentando assim a produção de óleos essenciais, os quais atuam na proteção contra pragas e doenças. Durante o desenvolvimento do experimento (abril de 2018 - abril de 2019) a temperatura média do ar (em 24 horas) no interior da casa de vegetação variou de 13,85,1°C a 27,11 °C.

Segundo Marques de Carvalho (2015), durante o ano, a intensidade luminosa e temperatura variam em função da sazonalidade e latitude dos locais de cultivo. Nos meses do ano em que se registram maiores valores de temperatura e radiação solar, geralmente se obtém maior produção de biomassa e óleos essenciais de plantas aromáticas.No cultivo de plantas aromáticas o planejamento da época de colheita, sazonalidade da produção e escolha de espécies adaptadas às condições climáticas

do local são estratégias que podem trazer qualidade e ganhos econômicos, diminuindo as perdas de material vegetal pela ocorrência de fatores bióticos adversos (FIGUEIREDO et al., 2014; FARAHANI et al., 2009).

#### 4.2.6. Produção de óleo essencial por planta (POE)

As produções médias de óleo essencial por planta variaram de 0,03 até 0,14 g. pl<sup>-1</sup>, nos quatro cortes realizados (Tabela 8).

**Tabela 8 - Produção de óleo essencial por planta (g. pl<sup>-1</sup>) de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| Lâminas de irrigação<br>(% da ET <sub>0</sub> ) | POE(g. pl <sup>-1</sup> )            |                  |                   |                 |
|---|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|   | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|   | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50  | 0,04 b                               | 0,07 b           | 0,05 c            | 0,03 b          |
| 75  | 0,06 a                               | 0,09 b           | 0,09 b            | 0,07 a          |
| 100   | 0,05 b                               | 0,14 a           | 0,09 b            | 0,07 a          |
| 125   | 0,07 b                               | 0,10 b           | 0,13 a            | 0,08 a          |
| CV%   | 18,71                                | 19,17            | 10,02             | 17,79           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de p≤0,05 de probabilidade

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), os manejos da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (0,07 g. pl<sup>-1</sup>) e em 75% da ET<sub>0</sub> (0,06 g. pl<sup>-1</sup>) resultaram nos maiores valores de POE, os quais apresentaram diferença estatística significativa entre si.

Não foi observado incremento na POE com o manejo da irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> (0,05 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 50% da ET<sub>0</sub> (0,04 g. pl<sup>-1</sup>). Neste corte foi observado incremento de 40% com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (0,07 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (0,05 g.pl<sup>-1</sup>), que apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 8).

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 ao 180 (DAPF), os maiores valores de POE corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> (0,14 g. pl<sup>-1</sup>) e em 125% da ET<sub>0</sub> (0,10 g. pl<sup>-1</sup>), que apresentaram diferença estatística significativa. Houve decréscimo de 28% na POE no segundo corte com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (0,10 g. pl<sup>-1</sup>), quando comparado ao manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (0,14 g. pl<sup>-1</sup>), que apresentaram diferença estatística significativa. Neste corte foi observado incremento de 50% na POE com o manejo da irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> (0,14 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 50% da ET<sub>0</sub> (0,07 g. pl<sup>-1</sup>), que diferiram entre si.

No terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 (DAPF), os manejos da irrigação com base em 125% (0,13 g. pl<sup>-1</sup>) e em 100% da ET<sub>0</sub> (0,09 g. pl<sup>-1</sup>) resultaram nos maiores valores de POE, que apresentaram diferença estatística significativa. Houve decréscimo de 44% na POE com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (0,05 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (0,09 g. pl<sup>-1</sup>), que diferiram entre si.

No terceiro corte, efetuado em janeiro de 2019 aos 270 (DAPF), não houve incremento na POE com o manejo da irrigação com base em 75% da ET<sub>0</sub> (0,09 g. pl<sup>-1</sup>), quando comparado ao manejo com 100% da ET<sub>0</sub> (0,09 g. pl<sup>-1</sup>). Neste corte houve incremento de 44% na POE com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (0,13 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (0,09 g. pl<sup>-1</sup>), que diferiram entre si.

No quarto corte, realizado em abril de 2019 aos 360 (DAPF), os maiores valores de POE corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub> (0,08 g. pl<sup>-1</sup>) e em 75% da ET<sub>0</sub> (0,07 g. pl<sup>-1</sup>), que não apresentaram diferença estatística significativa. Houve decréscimo de 57% na POE com o manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub> (0,03 g. pl<sup>-1</sup>) quando comparado ao manejo em 100% da ET<sub>0</sub> (0,07 g. pl<sup>-1</sup>) que diferiram entre si.

Segundo Junior et al. (2006), o manejo da irrigação em plantas aromáticas pode compensar o menor rendimento de óleo essencial com uma maior produção de biomassa que resultará em maior produtividade final de princípios ativos /área. Os maiores valores de POE foram observados no segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 270 DAPF (0,14 g. pl<sup>-1</sup>) e terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF (0,13 g. pl<sup>-1</sup>), com as lâminas de irrigação de 100% da ET<sub>0</sub> e de 125% da ET<sub>0</sub>, respectivamente.

Na tabela 9 têm-se os valores médios das características agronômicas de *lippia alba* avaliadas nos quatro cortes em função das lâminas de irrigação.

A similaridade das características agronômicas, para os quatro cortes de *Lippia alba* em função dos tratamentos (lâminas de irrigação), é evidenciada nas figuras 14-A, 14-B, 14-C e 14-D.

**Tabela 9 - Médias das características agronômicas de *Lippia alba* para os quatro cortes em função das lâminas de irrigação**

| Corte (DAPF)   | Lâmina irrigação (ET <sub>0</sub> %) | Características Agronômicas |                   |        |          |      |                            |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------|----------|------|----------------------------|
|                |                                      | PTMSF                       | PTMSC<br>g/planta | PTMSPA | RDF<br>% | ROE  | POE<br>g. pl <sup>-1</sup> |
| Primeiro (90)  | 50                                   | 4,53                        | 1,71              | 6,24   | 72,58    | 0,94 | 0,04                       |
| Segundo (180)  | 50                                   | 7,82                        | 29,95             | 37,47  | 20,76    | 0,95 | 0,07                       |
| Terceiro (270) | 50                                   | 6,13                        | 1,58              | 7,62   | 79,51    | 0,84 | 0,05                       |
| Quarto (360)   | 50                                   | 4,50                        | 1,03              | 5,34   | 84,24    | 0,74 | 0,03                       |
| Primeiro (90)  | 75                                   | 9,17                        | 5,01              | 14,18  | 64,68    | 0,76 | 0,06                       |
| Segundo (180)  | 75                                   | 9,43                        | 36,92             | 46,35  | 20,39    | 1,02 | 0,09                       |
| Terceiro (270) | 75                                   | 10,48                       | 4,20              | 14,68  | 71,57    | 0,90 | 0,09                       |
| Quarto (360)   | 75                                   | 7,01                        | 2,08              | 9,09   | 76,92    | 1,03 | 0,07                       |
| Primeiro (90)  | 100                                  | 5,81                        | 2,57              | 8,39   | 69,3     | 0,82 | 0,05                       |
| Segundo (180)  | 100                                  | 19,38                       | 47,35             | 66,82  | 29,07    | 0,73 | 0,14                       |
| Terceiro (270) | 100                                  | 11,7                        | 8,56              | 20,26  | 57,79    | 0,82 | 0,09                       |
| Quarto (360)   | 100                                  | 7,02                        | 2,62              | 9,64   | 72,9     | 0,97 | 0,07                       |
| Primeiro (90)  | 125                                  | 8,4                         | 4,30              | 12,71  | 66,17    | 0,89 | 0,07                       |
| Segundo (180)  | 125                                  | 15,7                        | 61,55             | 77,25  | 20,34    | 0,69 | 0,10                       |
| Terceiro (270) | 125                                  | 17,11                       | 10,55             | 27,66  | 61,85    | 0,79 | 0,13                       |
| Quarto (360)   | 125                                  | 9,89                        | 4,38              | 14,24  | 70,18    | 0,79 | 0,08                       |

PTMSF: produção total da matéria seca das folhas, PTMSC: produção total da matéria seca dos caules, PTMSPA produção total da matéria seca da parte aérea, RDF rendimento das folhas, ROE: rendimento do óleo essencial das folhas, POE: produção de óleo essencial por planta, % da ET<sub>0</sub>: porcentagem da evapotranspiração de referência, DAPF: dias após a poda de formação.

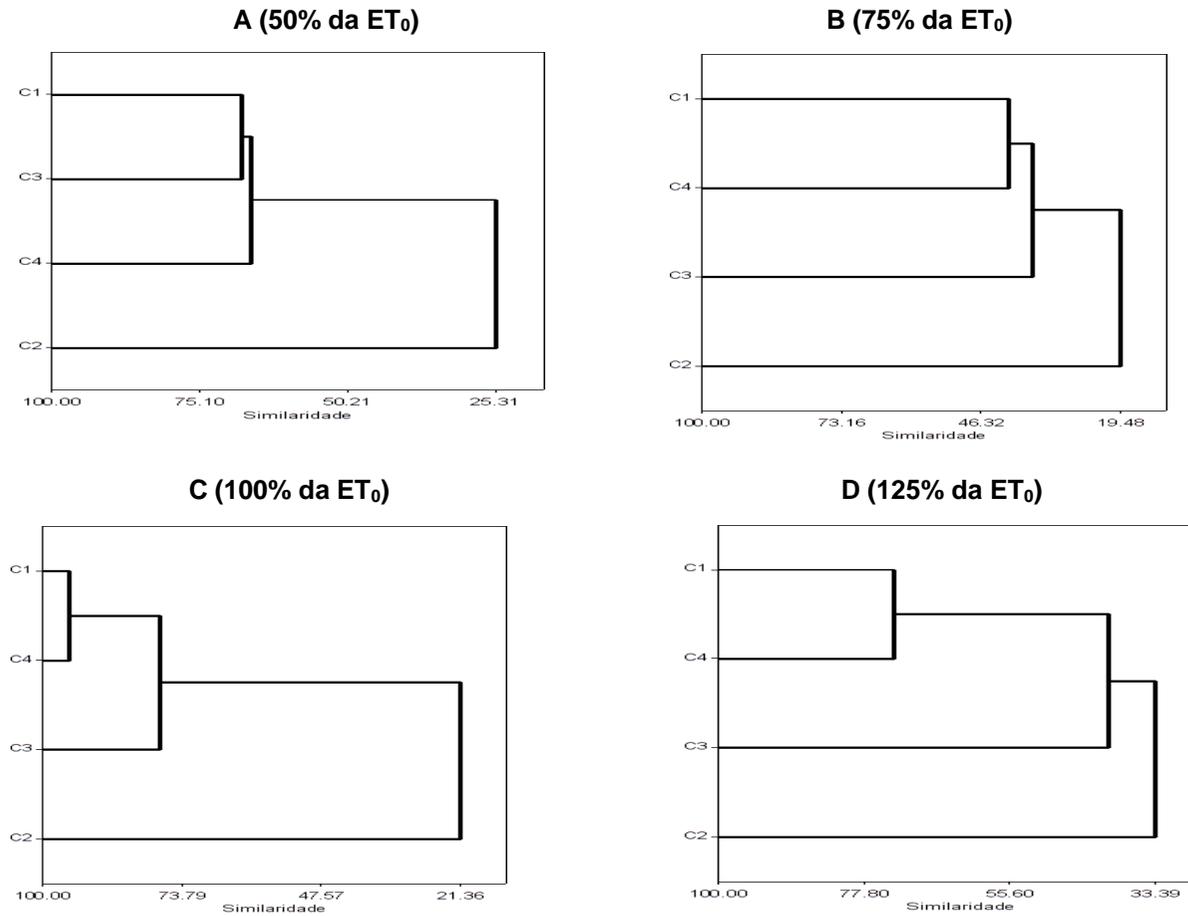
A figura 14-A mostra as similaridades (%) entre o primeiro corte (C1), segundo corte (C2), terceiro corte (C3) e quarto corte (C4) em função do manejo da irrigação com base em 50% da ET<sub>0</sub>.

Ao analisar o dendograma e os valores médias das características agronômicas avaliadas foi observado 67,90% de similaridade entre os cortes 1 e 3 (PTMSC, PTMSPA, RDF, ROE, POE), 66,26% da similaridade entre os cortes (1-3) e o 4 (PTMSC, PTMSPA, RDF, POE) e 25,33% da similaridade entre os cortes (1-3-4) e o 2 (PTMSF, ROE) (Figura 14-A).

Observou-se 40,88% da similaridade entre os cortes 1 e 4 (RDF, POE) com o manejo da irrigação com base em 75% da ET<sub>0</sub>, 36,46% da similaridade entre os cortes (1-4) e o 3 (RDF, POE) e 19,47 % da similaridade entre os cortes (1-4-3) e o 2 (ROE, POE) (Figura 14-B).

Com o manejo da irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> foi observado 76,32% da similaridade entre os cortes 1 e 4 (PTMSF, PTMSC, PTMSPA, RDF, POE), 63,63% da similaridade entre os cortes (1-4) e o 3, e 33,93% da similaridade entre os cortes (1-4-3) e o 2 (ROE) (Figura 14 C). Para os cortes 1 e 4 foi observado 73,33% da similaridade (PTMSC, PTMSP, RDF, ROE, POE) com o manejo da irrigação com base em 125% da ET<sub>0</sub>, 63,63% da similaridade entre os cortes (1-4) e o 3 (RDF) e 33,93% da similaridade entre os cortes (1-4-3) e o 2 (ROE) (Figura 14-D).

Figura 14 - Dendrogramas resultantes da análise de agrupamento para os quatro tratamentos avaliados (50% da  $ET_0$  - A), (75% da  $ET_0$  - B), (100% da  $ET_0$  - C) e (125% da  $ET_0$  - D), a partir das médias das características agrônômicas de *Lippia alba*, utilizando a distância euclidiana e análises d



### 4.3. Composição química do óleo essencial

Nos quatro cortes efetuados foram detectadas 19 substâncias no óleo essencial das folhas de *Lippia alba* (Tabela 10). Independentemente do tratamento (lâminas de irrigação), o linalol e 1,8-cineol foram os constituintes químicos mais abundantes nos óleos essenciais.

O linalol variou de 67,9% (primeiro corte, 75% ET<sub>0</sub>) a 84,8% (quarto corte, 100% da ET<sub>0</sub>) e o 1,8-cineol de 3,7% (segundo corte, com 50% da ET<sub>0</sub>) a 7,6% (quarto corte, com 125% ET<sub>0</sub>).

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), as proporções relativas médias dos compostos majoritários foram: linalol (75,95%), 1,8-cineol (4,2%), germacreno D (2,47%), geranial (2,35%) e  $\beta$ -elemeno (2,22%). Estes compostos representaram 91,19% do total de constituintes do óleo essencial.

A proporção relativa média no segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, foram: linalol, 75,07%; 1,8-cineol, 4,75%; germacreno D, 3,67%;  $\beta$ -elemeno, 2,57% e geranial, 2,10%, representando 88,16% do total dos constituintes do óleo essencial.

No terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, as proporções relativas médias dos compostos majoritários foram: linalol (77,80%), 1,8-cineol (5,02%), germacreno D (2,72%),  $\beta$ -geranial (2,12%),  $\beta$ -elemeno (2,02%) e geranial (2,12%). Estes compostos representaram 89,68% do total dos constituintes do óleo essencial.

As proporções relativas médias dos compostos majoritários no quarto corte, efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF, foram de 81,97% para o linalol; 6,65% para o 1,8-cineol; germacreno D 1,57%,  $\beta$ -elemeno 1,30% e geranial 1,15%, representando 92,64% do total dos constituintes do óleo essencial.

Nos quatro cortes efetuados, do total das substâncias identificadas, os monoterpenos oxigenados variaram de 77,5% (primeiro corte, com 75% da ET<sub>0</sub>) a 92,8% (quarto corte, com 100% da ET<sub>0</sub>). Os hidrocarbonetos monoterpênicos variaram de 1,8% (terceiro corte, 50% ET<sub>0</sub>) a 4,0% (segundo corte, 75% ET<sub>0</sub>) e os hidrocarbonetos sesquiterpênicos de 3,8% (quarto corte, 100% ET<sub>0</sub>) a 13,4% (segundo corte, 100% ET<sub>0</sub>).

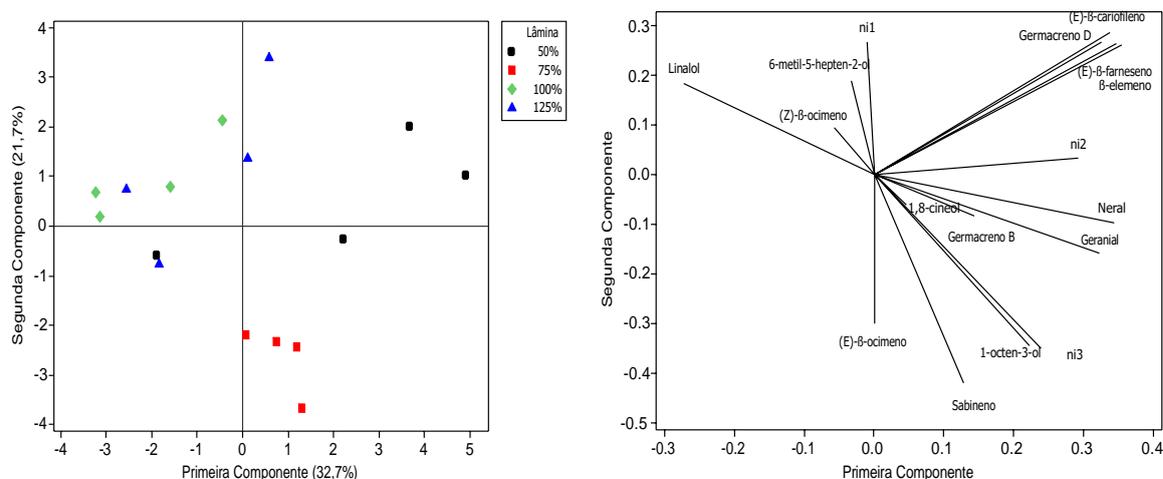
Tabela 10 - Composição química média (%) do óleo essencial das folhas de *Lippia alba*, quimiotipo Linalol em função das lâminas de irrigação

| Substância                       | IRL <sub>cal</sub> | IRL <sub>lit</sub> | Corte (Dias após a f da de formação)    |      |      |      |   |      |      |      |   |      |      |      |   |      |      |      |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|---|------|------|------|---|------|------|------|---|------|------|------|---|------|------|------|
|                                  |                    |                    | Primeiro (90 DAPF)                      |      |      |      | Segundo (180 DAPF)                      |      |      |      | Terceiro (270 DAPF)                     |      |      |      | Quarto (360 DAPF)                       |      |      |      |
|                                  |                    |                    | Lâminas de irrigação (ET <sub>o</sub> ) |      |      |      | Lâminas de irrigação (ET <sub>o</sub> ) |      |      |      | Lâminas de irrigação (ET <sub>o</sub> ) |      |      |      | Lâminas de irrigação (ET <sub>o</sub> ) |      |      |      |
| 50%                              | 75%                | 100%               | 125%                                    | 50%  | 75%  | 100% | 125%                                    | 50%  | 75%  | 100% | 125%                                    | 50%  | 75%  | 100% | 125%                                    |      |      |      |
| sabineno                         | 969                | 975                | 0,7                                     | 1,1  | 0,7  | 0,5  | 0,9                                     | 1,1  | 1,1  | 1,3  | 0,8                                     | 1,1  | -    | 1,3  | 1,1                                     | 1,0  | 0,6  | 1,2  |
| 1-octen-3-ol                     | 972                | 979                | 1,1                                     | 2,1  | 0,75 | 0,5  | 1,3                                     | 1,6  | 1,9  | 1,0  | -                                       | -    | 1,2  | 0,3  | 0,8                                     | 0,8  | 0,2  | 0,6  |
| 6-metil-5-hepten-2-ol            | 980                | 991                | -                                       | 0,8  | 0,34 | 1,3  | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | 0,6  | -    | -    | -                                       | -    | -    | 0,3  |
| 1,8-cineol                       | 1027               | 1031               | 4,5                                     | 4,1  | 4,0  | 4,2  | 3,7                                     | 5,3  | 4,2  | 5,8  | 6,5                                     | 4,9  | 4,1  | 4,6  | 7,3                                     | 6,4  | 5,3  | 7,6  |
| (Z)-β-ocimeno                    | 1032               | 1037               | 0,4                                     | 0,6  | 0,9  | 0,3  | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | 0,5  | -    | 0,5                                     | 0,5  | -    | 0,4  |
| (E)-β-ocimeno                    | 1043               | 1050               | 1,7                                     | 2,3  | 1,4  | 1,4  | 1,8                                     | 2,1  | 1,7  | 1,1  | 1,1                                     | 1,0  | 1,7  | 0,9  | 1,3                                     | 1,3  | 1,2  | 1,1  |
| (Z)-óxido de linalol             | 1066               | 1072               | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    | 0,7                                     | -    | -    | -    | -                                       | -    | 0,5  | 0,4  |
| (E)-óxido de linalol             | 1083               | 1086               | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    | 0,5                                     | -    | -    | -    | -                                       | -    | 0,4  | 0,4  |
| Linalol                          | 1096               | 1096               | 72,8                                    | 67,9 | 82,3 | 80,8 | 76,0                                    | 75,7 | 69,9 | 78,7 | 83,4                                    | 79,2 | 76,0 | 72,6 | 80,3                                    | 80,6 | 84,8 | 82,2 |
| ni1                              | 1195               | -                  | 0,7                                     | 0,7  | 0,3  | 0,5  | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    |
| ni2                              | 1203               | -                  | 1,5                                     | 2,1  | 1,5  | 1,2  | 1,6                                     | 0,9  | 1,4  | 0,7  | -                                       | 1,0  | 0,8  | 1,9  | 1,2                                     | 0,4  | -    | 0,4  |
| Neral                            | 1235               | 1238               | 3,3                                     | 2,7  | 1,8  | 1,5  | 2,3                                     | 2,2  | 3,0  | 2,3  | 1,3                                     | 2,0  | 3,1  | 3,0  | 1,0                                     | 1,4  | 1,1  | 0,8  |
| Geranial                         | 1264               | 1267               | 3,5                                     | 2,8  | 1,7  | 1,4  | 1,8                                     | 1,7  | 2,9  | 2,0  | 1,0                                     | 1,7  | 2,9  | 2,9  | 1,4                                     | 1,0  | 1,6  | 0,6  |
| β-elemeno                        | 1386               | 1390               | 2,3                                     | 3,2  | 1,5  | 1,9  | 2,7                                     | 2,3  | 3,5  | 1,8  | 1,3                                     | 1,7  | 2,5  | 2,6  | 1,3                                     | 1,5  | 1,3  | 1,1  |
| (E)-β-cariofileno                | 1413               | 1419               | 1,2                                     | 2,0  | 0,6  | 0,6  | 1,0                                     | 1,0  | 1,3  | 1,0  | 0,7                                     | 1,4  | 1,4  | 1,7  | 0,8                                     | 1,0  | 0,6  | 0,8  |
| (E)-β-farneseno                  | 1450               | 1456               | 1,3                                     | 2,2  | 0,6  | 0,5  | 1,4                                     | 1,2  | 2,0  | 0,9  | 0,7                                     | 1,2  | 1,2  | 1,7  | 0,5                                     | 0,8  | 0,4  | 0,4  |
| germacreno D                     | 1473               | 1484               | 3,1                                     | 2,1  | 2,0  | 2,7  | 4,1                                     | 3,3  | 5,1  | 2,2  | 0,9                                     | 2,7  | 3,1  | 4,2  | 1,5                                     | 2,0  | 1,5  | 1,3  |
| ni3                              | 1497               | -                  | 0,7                                     | 1,1  | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | 0,6  | -                                       | -    | -    | -    |
| germacreno B                     | 1548               | 1561               | 1,1                                     | 2,0  | 0,4  | 0,5  | 0,9                                     | 1,0  | 1,5  | 0,7  | 0,7                                     | 1,0  | 0,8  | 1,2  | 0,6                                     | 0,6  | -    | 0,3  |
| Total, identificado              |                    |                    | 99,9                                    | 99,8 | 99,7 | 99,8 | 99,5                                    | 99,4 | 99,5 | 99,5 | 99,6                                    | 99,5 | 99,3 | 99,5 | 99,6                                    | 99,3 | 99,5 | 99,9 |
| <b>Classe compostos</b>          |                    |                    |   |      |      |      |   |      |      |      |   |      |      |      |   |      |      |      |
| Hidrocarbonetos monoterpênicos   |                    |                    | 2,8                                     | 4,0  | 3,0  | 2,2  | 2,7                                     | 3,2  | 2,8  | 2,4  | 1,9                                     | 2,1  | 2,2  | 2,2  | 2,9                                     | 2,8  | 1,8  | 2,7  |
| Monoterpenos oxigenados          |                    |                    | 84,1                                    | 77,5 | 89,8 | 87,9 | 83,8                                    | 84,9 | 80,0 | 88,8 | 92,2                                    | 87,8 | 86,1 | 83,1 | 90,0                                    | 89,4 | 92,8 | 91,2 |
| Hidrocarbonetos sesquiterpênicos |                    |                    | 9,0                                     | 11,5 | 5,1  | 6,2  | 10,1                                    | 8,8  | 13,4 | 6,6  | 4,3                                     | 8,0  | 9,0  | 11,4 | 4,7                                     | 5,9  | 3,8  | 3,9  |
| Tetrahidrofuranos                |                    |                    | -                                       | -    | -    | -    | -                                       | -    | -    | -    | 1,2                                     | -    | -    | -    | -                                       | -    | 0,9  | 0,8  |
| Outros                           |                    |                    | 1,1                                     | 2,9  | 0,9  | 1,8  | 1,3                                     | 1,6  | 1,9  | 1,0  | -                                       | 0,6  | 1,2  | 0,3  | 0,8                                     | 0,8  | 0,2  | 0,9  |

ni = não identificado; IRL<sub>ca</sub> = Índice de retenção calculado; RL<sub>lit</sub> = Índice de retenção literatura (ADAMS, 2017); ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência.

A figura 15 mostra o padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ), no primeiro corte efetuado aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas substâncias detectadas no óleo essencial das folhas da *Lippia alba*.

**Figura 15 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ) no primeiro corte aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de *Lippia alba***



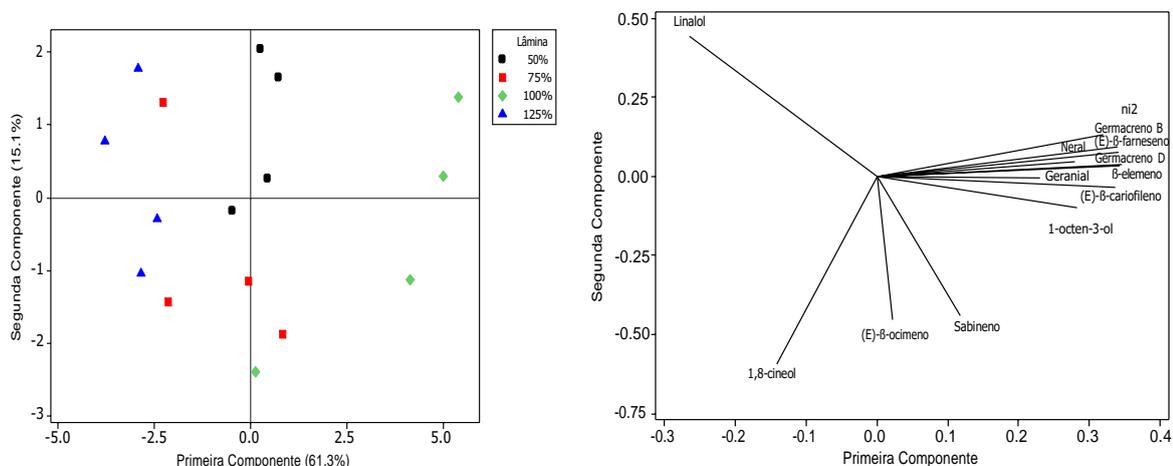
Analisando-se o manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), foi verificado que a análises de componentes principais (ACP) expressou 54,4 % da variação total nas primeiras componentes principais.

Na primeira componente (32,7%), foi observado que os manejos da irrigação com base em 50% e em 75% da  $ET_0$  estão correlacionados positivamente com o acúmulo das substâncias β-elemeno, neral, geranial, germacreno D, (*E*)-β-cariofileno e (*E*)-β-farneseno.

Na segunda componente (21,7%), foi observado que os manejos da irrigação com base em 100% e em 125% da  $ET_0$  estão correlacionados positivamente com o acúmulo do linalol.

Na figura 16 pode-se observar o padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ) no segundo corte (180 DAPF), definido pela análise de componentes principais (ACP) com base nas substâncias detectadas no óleo essencial das folhas da *Lippia alba*.

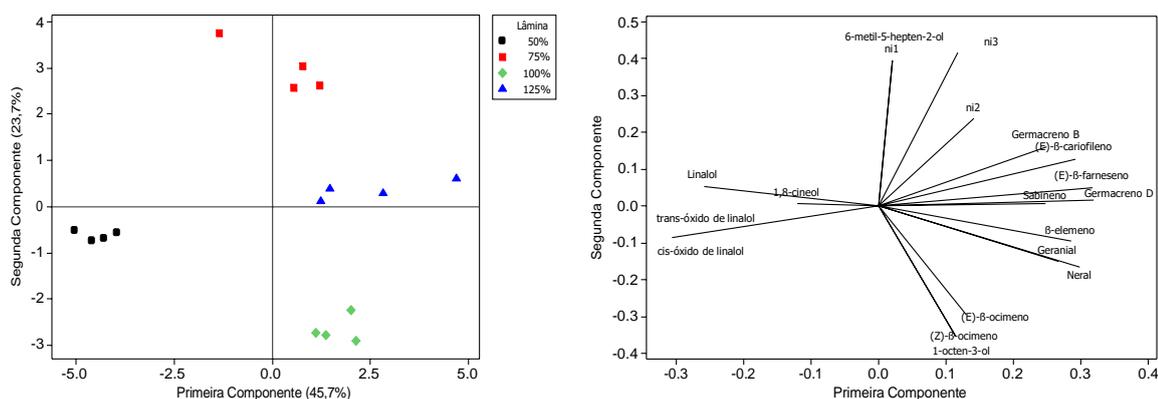
**Figura 16 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da ET<sub>0</sub>) no segundo corte (180 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de *Lippia alba***



A análise de componentes principais (ACP) expressou 76,4% da variação total nas primeiras componentes principais. Na primeira componente (61,3%), os manejos da irrigação com base em 75 e em 100% da ET<sub>0</sub> estão correlacionados positivamente com o acúmulo do  $\beta$ -elemeno, germacreno D, germacreno B, (E)- $\beta$ -farneseno, (E)- $\beta$ -cariofileno. Foi observado na segunda componente (15,1%) que os manejos da irrigação com base em 75 e 125% da ET<sub>0</sub> estão correlacionados positivamente com o acúmulo de linalol e negativamente com o acúmulo de 1,8 cineol e de (E)- $\beta$ -ocimeno.

A Figura 17 mostra o padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da ET<sub>0</sub>) no terceiro corte (270 DAPF), com base na análise de componentes principais (ACP) das substâncias detectadas no óleo essencial das folhas da *Lippia alba*.

**Figura 17- Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da ET<sub>0</sub>) no terceiro corte (270 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de *Lippia alba***



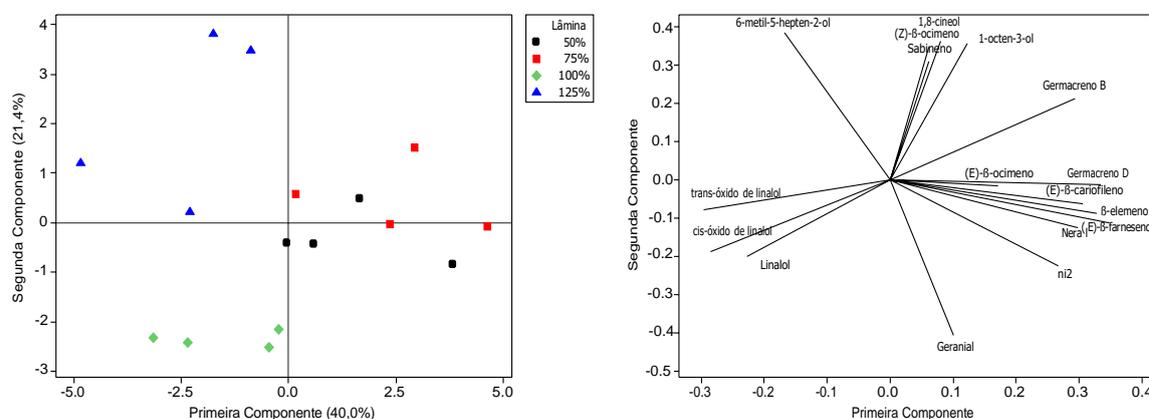
Para o manejo da irrigação com base na evapotranspiração ( $ET_0$ ) foi verificado que a análise de componentes principais (ACP) expressou 69,4% da variação total nas primeiras componentes principais (Figura 17).

Na primeira componente (45,7%), o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  está correlacionado positivamente com o acúmulo do germacreno D, (*E*)  $\beta$ -farneseno e o manejo com base em 50 % da  $ET_0$  negativamente com o acúmulo de *cis*-óxido de linalol e (*E*)-óxido de linalol (Figura 17).

Na segunda componente (23,7 %), o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  está correlacionado negativamente com o acúmulo de (*Z*)-óxido de linalol e (*E*)-óxido de linalol. Para as outras substâncias químicas detectadas no terceiro corte, foi observada menor intensidade na correlação (Figura 17).

Na Figura 18 observa-se o padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ) no quarto corte (360 DAPF), conforme a análise de componentes principais (ACP) das substâncias detectadas no óleo essencial das folhas da *Lippia alba*.

**Figura 18 - Padrão de divergência química entre as lâminas de irrigação (% da  $ET_0$ ) no terceiro corte (360 DAPF), definido pela análise de componentes principais com base nas 19 substâncias detectadas no óleo essencial de *Lippia alba***



Foi verificado que a análise de componentes principais (ACP) expressou 61,4% da variação total nas primeiras componentes principais (Figura 18).

Na primeira componente (40,0%), os manejos da irrigação com base em 50% e em 75% da  $ET_0$  estão correlacionados positivamente com o acúmulo  $\beta$ -elemeno, germacreno D, (*E*)- $\beta$ -cariofileno e (*E*)- $\beta$ -farneseno.

Na segunda componente (21,4%), o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  está correlacionado positivamente com o acúmulo de 6-metil-5-hepten-2-ol.

### 4.3.1. Linalol

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), as maiores proporções relativas do linalol (%) corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (82,3%) e em 125% da  $ET_0$  (80,8%), que não apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 11).

**Tabela 11 - Proporção relativa do linalol (%) nas folhas de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação.**

| Lâminas de irrigação<br>(% da $ET_0$ ) | Linalol (%)                          |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50                                     | 72,8 ± 6,1 b                         | 76,0 ± 2,9 a     | 83,4 ± 3,8 a      | 80,3 ± 2,7 a    |
| 75                                     | 67,9 ± 1,8 b                         | 75,7 ± 5,1 a     | 79,2 ± 2,6 a      | 80,6 ± 1,9 a    |
| 100                                    | 82,3 ± 3,7 a                         | 69,9 ± 1,6 b     | 76,0 ± 5,6 b      | 84,8 ± 1,0 a    |
| 125                                    | 80,8 ± 4,5 a                         | 78,7 ± 3,2 a     | 72,6 ± 4,6 b      | 82,2 ± 1,5 a    |
| CV%                                    | 10,12                                | 4,61             | 5,63              | 3,09            |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte foi observado decréscimo de 18% na proporção relativa do linalol com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (67,9%), quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (82,3%), que apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 11). Houve incremento de 12% na proporção relativa do linalol com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (82,3%) quando comparado com o manejo em 50% da  $ET_0$  (72,8%), que diferiram entre si.

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, as maiores proporções relativas do linalol corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (78,7%) e em 50% da  $ET_0$  (76,0%), que não diferiram estatisticamente entre si.

No segundo corte foi observado incremento de 9% na proporção relativa do linalol com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (76,0%), quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (69,9%), que diferiram entre si (Tabela 11). Esses resultados são próximos aos observados por Khalid (2009), em experimento desenvolvido no Egito com *Ocimum basilicum* L e *Ocimum americanum* L, que obteve incremento de 9% na proporção relativa de linalol no óleo essencial da espécie *O.basilicum* e de 6% para *O. americanum*, nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico de 50%, comparativamente com o tratamento controle (100%).

No terceiro corte, efetuado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, as maiores proporções relativas do linalol corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (83,4%) e em 75% da  $ET_0$  (79,2%), que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 10). Houve incremento de 9% na proporção relativa do linalol com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (83,3%) quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (76,0%), que diferiram entre si.

No quarto corte, realizado em abril de 2019 aos 360 DAPF, as maiores proporções relativas do linalol corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (84,8%) e em 125% da  $ET_0$  (82,2%), que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 10). Houve incremento de 5% na proporção relativa do linalol com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (84,8%) quando comparado com o manejo em 50% da  $ET_0$  (80,3%), que não apresentaram diferença estatística significativa. Foi verificado no quarto corte efetuado em abril de 2019, aos 360 DAPF, que as proporções relativas do linalol não foram influenciadas pelas lâminas de irrigação.

As maiores proporções relativas do linalol foram observados no quarto corte efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF (84,8%) e no terceiro corte realizado em janeiro/2019 aos 270 DAPF (83,4%), com as lâminas de irrigação de 100% e de 50% da  $ET_0$ , respectivamente (Tabela 11).

Na Tunísia, avaliação do efeito do déficit hídrico no teor de ácidos graxos e composição química do óleo essencial de *Salvia officinalis* constatou que as proporções relativas do linalol variaram de 14,14 a 46,27%, com aumento de 227% do linalol em plantas com déficit hídrico controlado quando comparadas com o tratamento controle (BETTAIEB et al., 2009).

Abdi et al. (2019) observaram em *Mentha x piperita* L. incremento do menthofuran nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico ( $40 \pm 5\%$  da capacidade de campo), quando comparadas com o tratamento controle (100%).

No Brasil, Ventrella (2000) avaliou diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita de *Lippia alba*, verificando que a síntese das substâncias no óleo essencial está relacionada com as condições de disponibilidade hídrica, temperatura e radiação solar do local de cultivo. As baixas temperaturas registradas no inverno (Julho) influenciaram o acúmulo de linalol, enquanto a síntese do geraniol e do neral foi influenciada pelas altas temperaturas e radiação solar registradas durante a estação de verão (janeiro) e outono (abril).

Na produção de óleos essenciais de plantas aromáticas ocorrem processos bioquímicos e mecanismos moleculares que regulam o fluxo de carbono através das rotas metabólicas para a síntese de terpenóides e/ou fenilpropanóides. Esses metabolitos especializados estão relacionados com o controle genético e adaptações do genótipo às mudanças nas condições ambientais do local de cultivo (SANGWAN et al., 2001).

Alguns estudos têm utilizado o rendimento e a composição química dos óleos essenciais como indicadores de adaptação das plantas aromáticas. De acordo com Abdelmajeed et al. (2013), a composição, qualidade e concentração das substâncias nos óleos essenciais de plantas aromáticas variam com as condições agrometeorológicas do local de cultivo. Os óleos essenciais estão relacionados com os mecanismos de adaptação das plantas aromáticas às condições de estresse causados por fatores abióticos como déficit hídrico, temperatura e intensidade luminosa.

#### 4.3.2. 1,8 cineol

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação DAPF, as maiores proporções relativas do 1,8 cineol corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (4,4%) e em 125% da  $ET_0$  (4,2%), que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 12). Houve incremento de 10% na proporção relativa do 1,8 cineol com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (4,4%) quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (4,0%), que não apresentaram diferença estatística significativa.

**Tabela 12 - Proporção relativa de 1,8 cineol (%) nas folhas de *Lippia alba* em função das lâminas**

| lâminas de irrigação<br>(% da $ET_0$ ) | 1,8 cineol (%)                       |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50                                     | 4,4 ± 0,3 a                          | 3,7 ± 2,4 a      | 6,5 ± 3,2 a       | 7,3 ± 0,9 a     |
| 75                                     | 4,1 ± 1,3 a                          | 5,3 ± 1,9 a      | 4,9 ± 1,0 a       | 6,4 ± 0,4 a     |
| 100                                    | 4,0 ± 0,1 a                          | 4,2 ± 2,4 a      | 4,1 ± 3,4 a       | 5,3 ± 0,4 a     |
| 125                                    | 4,2 ± 0,1 a                          | 5,8 ± 1,8 a      | 4,6 ± 1,0 a       | 7,6 ± 0,4 a     |
| CV%                                    | 16,10                                | 26,02            | 29,74             | 25,26           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, as maiores proporções relativas do 1,8 cineol corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (5,8%) e em 75% da  $ET_0$  (5,3%), que não diferiram estatisticamente entre si.

No segundo corte houve incremento de 25% na proporção relativa do 1,8 cineol com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (5,3%), quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (4,2%), que não apresentaram diferença estatística significativa.

No terceiro corte, realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, foram observadas as maiores proporções relativas do 1,8 cineol com os manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (6,5%) e em 75% da  $ET_0$  (4,9%), que não diferiram estatisticamente entre si.

Houve incremento de 59% na proporção relativa do 1,8 cineol com o manejo com base em 50% da  $ET_0$  (6,5%) quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (4,1%), que não apresentaram diferença estatística significativa.

No quarto corte, efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF, as maiores proporções relativas do 1,8 cineol corresponderam aos manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (7,6%) e em 50% da  $ET_0$  (7,3%), que não diferiram estatisticamente entre si. Houve incremento de 44% na proporção relativa do 1,8 cineol com o manejo com base em 125% da  $ET_0$  (7,6%) quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (5,3%), que não apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 12).

As maiores proporções relativas do 1,8 cineol foram observadas no quarto corte efetuado em abril de 2019 aos 360 DAPF (7,6%) e terceiro corte realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF (6,5%), com as lâminas de irrigação de 125% e de 50% da  $ET_0$ , respectivamente.

As lâminas de irrigação não influenciaram as proporções relativas de 1,8 cineol nos quatro cortes efetuados.

No Brasil, Corrêa de Barros et al. (2009) observaram na colheita de inverno (julho) de *Lippia alba* incremento de 65% na proporção relativa do 1,8 cineol quando comparado com a colheita de verão (janeiro).

Os mecanismos de adaptação das espécies vegetais aos estresses causados por fatores abióticos, como o déficit hídrico, estão relacionados com vários processos e alterações bioquímicas, fisiológicas, anatômicas, morfológicas e transições gênicas.

As respostas fisiológicas das plantas em condições de déficit hídrico dependem da espécie, variedade, dinâmica, duração e intensidade, quantidade de água no solo, mudanças na demanda de água da atmosfera, condições ambientais, crescimento e estado fenológico da planta no qual acontece o déficit hídrico. De acordo com LISAR et al. (2014), durante a aclimação das espécies vegetais aos ambientes com baixa disponibilidade de água, ocorre o acúmulo e sínteses de metabolitos especializados (secundários) nas estruturas que estão associadas aos mecanismos de adaptação ao déficit hídrico para a manutenção da homeostase (equilíbrio iônico e ajuste osmótico).

#### 4.3.3. Geranial

No primeiro corte, realizado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), as maiores proporções relativas do geranial (%) corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (3,5%) e em 75% da  $ET_0$  (2,8%), que não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 13).

**Tabela 13 - Proporção relativa de Geranial (%) nas folhas de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação.**

| Lâminas de irrigação<br>(% da $ET_0$ ) | Geranial (%)                         |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50                                     | 3,5 ± 1,0 a                          | 1,8 ± 0,4 b      | 1,0 ± 0,1 b       | 1,4 ± 0,3 a     |
| 75                                     | 2,8 ± 0,5 a                          | 1,7 ± 0,6 b      | 1,7 ± 0,9 b       | 1,0 ± 0,2 b     |
| 100                                    | 1,7 ± 0,4 b                          | 2,9 ± 0,6 a      | 2,9 ± 0,8 a       | 1,6 ± 0,1 a     |
| 125                                    | 1,4 ± 0,3 b                          | 2,0 ± 0,4 b      | 2,9 ± 0,5 a       | 0,6 ± 0,1 c     |
| CV%                                    | 25,32                                | 26,25            | 30,37             | 18,66           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte foi observado decréscimo de 37% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (2,8%), quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,7%), que diferiram entre si. Houve incremento de 100% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (3,5%) quando comparado com o manejo em 100% da  $ET_0$  (1,7%), que diferiram entre si.

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, as maiores proporções relativas do geranial (%) corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (2,9%) e em 125% da  $ET_0$  (2,0%) que diferiram estatisticamente entre si (Tabela 13).

Houve decréscimo de 41% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,7%), quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (2,9%), que diferiram entre si. Neste corte foi observado incremento de 61% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (2,9%) quando comparado com o manejo com base em 50% da  $ET_0$  (1,8%) que diferiram entre si.

No terceiro corte, efetuado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, as maiores proporções relativas do geranial (%) corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% e em 125% da  $ET_0$  (2,9%) que não diferiram entre si. Neste corte, foi observado decréscimo de 66% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (1,0%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (2,9%), que diferiram estatisticamente entre si. Houve incremento de 70% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (2,9%) quando comparado com o manejo com base em 75% da  $ET_0$  (1,7%), que diferiram entre si.

No quarto corte, ocorrido em abril de 2019 aos 360 DAPF, as maiores produções relativas do geranial (%) corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (1,6%) e em 50% da  $ET_0$  (1,4%), que não diferiram estatisticamente entre si. Neste corte, foi observado decréscimo de 62% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (0,6%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,6%), que diferiram entre si. Houve incremento de 53% na proporção relativa do geranial com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (1,6%) quando comparado com o manejo com base em 75% da  $ET_0$  (1,0%), que diferiram entre si.

As maiores proporções relativas do geranial foram observadas no primeiro corte efetuado em julho de 2018 aos 90 DAPF (3,5%) e terceiro corte realizado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF (2,9%), com as lâminas de irrigação de 50% e de 100% da  $ET_0$ , respectivamente (Tabela 13).

No Brasil, Tavares et al. (2005), analisando o efeito dos fatores ambientais no rendimento e composição química do óleo essencial de folhas de *Lippia alba*-quimiotipo linalol, observaram proporções relativas de 0,56% do geranial, sendo inferior aos valores observados neste estudo nos cortes efetuados aos 90, 180 e 270 DAPF, os quais variaram entre 1,0% ate 3,5 %, considerando todas as lâminas de irrigação ( $ET_0$ ).

No Egito, Aziz et al. (2008) verificaram que o manejo da irrigação é uma prática agrícola que possibilita regular a disponibilidade e demanda de água de *Thymus vulgaris* com aumento nas proporções relativas do *p*-cimeno em plantas submetidas a déficit hídrico.

Segundo Ferreira e Costa (2011), no cultivo de plantas aromáticas é importante identificar a época de corte na qual se obtém um equilíbrio entre a maior produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de substâncias químicas de interesse.

#### 4.3.4. $\beta$ -elemeno

No primeiro corte, efetuado em julho de 2018 aos 90 dias após a poda de formação (DAPF), as maiores proporções relativas do  $\beta$ -elemeno corresponderam aos manejos da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (3,2%) e em 50% da  $ET_0$  (2,3%), que não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 14).

**Tabela 14 - Proporção relativa de  $\beta$ -elemeno (%) nas folhas de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação.**

| Lâminas de irrigação<br>(% da $ET_0$ ) | $\beta$ -elemeno (%)                 |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50                                     | 2,3 $\pm$ 0,7 a                      | 2,7 $\pm$ 0,1 b  | 1,3 $\pm$ 0,1 b   | 1,3 $\pm$ 0,3 a |
| 75                                     | 3,2 $\pm$ 0,6 a                      | 2,3 $\pm$ 0,3 b  | 1,7 $\pm$ 0,4 b   | 1,5 $\pm$ 0,2 a |
| 100                                    | 1,5 $\pm$ 0,4 a                      | 3,5 $\pm$ 0,6 a  | 2,5 $\pm$ 0,4 a   | 1,3 $\pm$ 0,2 a |
| 125                                    | 1,9 $\pm$ 0,5 a                      | 1,8 $\pm$ 0,2 c  | 2,6 $\pm$ 0,6 a   | 1,1 $\pm$ 0,3 a |
| CV%                                    | 26,12                                | 15,95            | 27,91             | 22,42           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte foi observado incremento de 49% na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (2,3%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,5%), que não diferiram entre si.

No segundo corte, realizado em outubro de 2018 aos 180 DAPF, as maiores proporções relativas do  $\beta$ -elemeno corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (3,5%), e em 50% da  $ET_0$  (2,7%), que diferiram entre si. Neste corte, foi observado decréscimo de 49% na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (1,8%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (3,5%), que diferiram entre si.

Houve incremento de 50% na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (3,5%) quando comparado com o manejo com base em 75% da  $ET_0$  (2,3%), que diferiram entre si.

No terceiro corte, efetuado em janeiro de 2019 aos 270 DAPF, as maiores proporções relativas do  $\beta$ -elemeno corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (2,6%) e em 100 % da  $ET_0$  (2,5%), que não apresentaram diferença significativa entre si. Neste corte foi observado incremento de 108% na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (2,6%) quando comparado com o manejo com base em 50% da  $ET_0$  (1,3%), que diferiram entre si.

No quarto corte, realizado em abril de 2019 aos 360 DAPF, as maiores proporções relativas do  $\beta$ -elemeno corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (1,5%) e em 75% da  $ET_0$  (1,3%), que não apresentaram diferença significativa entre si. Houve incremento de 16% na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (1,5%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,3%), que não diferiram entre si.

Foi verificado no primeiro corte (julho /2018) e no quarto corte (abril/2019) que as lâminas de irrigação não influenciaram as proporções relativas do  $\beta$ -elemeno. As maiores proporções relativas foram observadas no segundo corte efetuado em outubro de 2018 aos 180 DAPF (3,5%) e no primeiro corte em julho de 2018 aos 90 DAPF (3,2%), com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  e 50% da  $ET_0$ , respectivamente.

Na França, Hennebelle et al. (2006), avaliando o rendimento e composição química do óleo essencial em 4 genótipos de *Lippia alba*, observaram proporções relativas do  $\beta$ -elemeno que variaram entre 1,3 e 2,9%, sendo estes valores próximos aos obtidos com os diferentes manejos da irrigação com base na  $ET_0$  no primeiro e terceiro cortes, que variaram de 1,5 a 2,6%.

Na Grécia, Petropoulos et al. (2008), avaliando o efeito do déficit hídrico na produção, rendimento e composição química do óleo essencial de *Petrocelinum crispum* (Mill) Nym.ex A.W Hill, observaram acréscimo de 24 % na proporção relativa do  $\beta$ -elemeno em plantas sob déficit hídrico, quando comparadas com o tratamento controle.

Na Colômbia, Camargo e Rodrigues (2008) avaliaram a resposta fenotípica de *Lippia alba* em função da disponibilidade da água no solo e observaram variações fenotípicas e diferenças significativas nos caracteres morfológicos e da biomassa das plantas que foram cultivadas e colhidas quando o solo apresentava conteúdos relativos de água entre 70 e 90%.

De acordo com Lisar et al. (2012), as respostas das plantas ao estresse causado por fatores abióticos, como déficit hídrico, envolvem genes e mecanismos moleculares sequenciados. Inicialmente ocorre o sensoriamento, percepção e transdução das sinais pelos osmossensores (AtHK1) e pelas enzimas quinases e fosfolipases que atuam como mensageiros secundários. Em seguida acontece o controle transcricional por meio dos fatores de transcrição DREB (fatores sensíveis à desidratação) e a ativação dos mecanismos sensíveis ao estresse através das enzimas SOD (superóxido desmutase) e CAT (catalase), que têm função antioxidante e agem sob as ROS (espécies reativas de oxigênio). Posteriormente, ocorre a osmoproteção através da atividade das enzimas (glutaciona e prolina) que agem como sequestradores de radicais livres e a reestruturação da homeostase celular, proteção funcional e estrutural pelo transporte da água e íons por meio das proteínas aquaporina (AQP). Os resultados desses processos resultam na tolerância ou resistência das plantas ao déficit hídrico.

#### 4.3.5. Germacreno D

No primeiro corte (90 DAPF), as maiores proporções relativas do germacreno D corresponderam aos manejos da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  D (3,1%) e em 125% da  $ET_0$  (2,7%), que não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 15).

**Tabela 15 - Proporção relativa de germacreno D (%) nas folhas de *Lippia alba* em função das lâminas de irrigação**

| lâminas de irrigação<br>(% da $ET_0$ ) | Germacreno D                         |                  |                   |                 |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | Corte (Dias após a poda de formação) |                  |                   |                 |
|  | Primeiro<br>(90)                     | Segundo<br>(180) | Terceiro<br>(270) | Quarto<br>(360) |
| 50                                     | 3,1 ± 1,1 a                          | 4,1 ± 0,2 a      | 0,9 ± 0,1 c       | 1,5 ± 0,4 a     |
| 75                                     | 2,1 ± 0,5 a                          | 3,3 ± 0,5 b      | 2,7 ± 1,0 b       | 2,0 ± 0,4 a     |
| 100                                    | 2,0 ± 0,7 a                          | 5,1 ± 1,1 a      | 3,1 ± 0,5 b       | 1,5 ± 0,3 a     |
| 125                                    | 2,7 ± 0,7 a                          | 2,2 ± 0,3 c      | 4,2 ± 1,0 a       | 1,3 ± 0,5 a     |
| CV%                                    | 23,49                                | 17,93            | 30,27             | 28,58           |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de  $p \leq 0,05$  de probabilidade

No primeiro corte foi observado decréscimo de 6% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (2,0%), quando comparado com o manejo com base em 75% da  $ET_0$  (2,1%), que não diferiram entre si. Houve incremento de 55% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (3,1%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (2,0%), que não diferiram entre si.

No segundo corte (180 DAPF), as maiores proporções relativas do germacreno D corresponderam aos manejos da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (5,1%) e em 50% da  $ET_0$  (4,1%), que não apresentaram diferença significativa entre si.

No segundo corte foi observado decréscimo de 20% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (5,1%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (4,1%), que não diferiram entre si. Houve incremento de 34% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 100% da  $ET_0$  (5,1%) quando comparado com o manejo com base em 75% da  $ET_0$  (3,3%), que diferiram entre si.

No terceiro corte (270 DAPF), as maiores proporções relativas do germacreno D corresponderam aos manejos da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (4,2%) e em 100% da  $ET_0$  (3,1%), que apresentaram diferença significativa entre si.

No terceiro corte foi observado decréscimo de 73% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 50% da  $ET_0$  (0,9%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (3,1%), que diferiram entre si. Houve incremento de 35% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (4,2%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (3,1%), que diferiram entre si.

No quarto corte as maiores proporções relativas do germacreno D corresponderam aos manejos da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (2,0%) e em 50% da  $ET_0$  (1,5%), que não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 15).

No quarto corte foi observado decréscimo de 15% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 125% da  $ET_0$  (1,3%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,5%), que não diferiram entre si. Houve incremento de 38% na proporção relativa do germacreno D com o manejo da irrigação com base em 75% da  $ET_0$  (2,0%) quando comparado com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  (1,5%), que não diferiram entre si.

Foi verificado que no primeiro e quarto cortes as lâminas de irrigação não influenciaram as proporções relativas de germacreno D. As maiores proporções relativas do germacreno D foram observadas no segundo (5,1%) e terceiro cortes (4,2%), com o manejo com base em 100% da  $ET_0$  e em 125 da  $ET_0$ , respectivamente.

No Egypto, Aziz et al. (2008), estudando o efeito de diferentes tipos de solos e intervalos de irrigação na produtividade, rendimento e composição química do óleo essencial de *Thymus vulgaris*, observaram incrementos de 43% nas proporções relativas de germacreno D em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Na Costa Rica, Ciccio et al. (2006) observaram para *Lippia alba*, cultivada na região tropical úmida com temperatura média de 22 °C e precipitação média de 3000 mm (10°01'03.1"N, 83°19'41.6"W), variação de 2,73 (junho/2003) a 4,26% (abril/2004) na proporção relativa do germacreno D. Não houve diferença significativa nas proporções relativas das substâncias do óleo essencial em função da época de colheita, indicando que essa região poderia ser um local com condições climáticas desejáveis para o cultivo comercial da espécie *Lippia alba*, que apresentou estabilidade química.

No Brasil estudos têm mostrado que a época de corte pode influenciar o rendimento e a composição química do óleo essencial da espécie *Lippia alba* (DOS SANTOS PINTO, 2017; BOTTIGNON, 2009; RUFINO, 2008; TAVARES, 2009; DIAS EHLERT, 2003).

Segundo Seimar e Kleinachter (2013), as plantas aromáticas cultivadas em regiões com baixa disponibilidade de água apresentam maiores concentrações de metabólitos especializados, também chamados de secundários, pelos estresses causados pelo déficit hídrico e pela alta intensidade luminosa, quando comparadas com aquelas cultivadas em climas moderados. Em condições de déficit hídrico ocorre o fechamento dos estômatos, diminuindo a absorção de  $CO_2$  e o consumo de equivalentes de redução ( $NADPH + H^+$ ) na via do ciclo de Calvin para a fixação de  $CO_2$ . Conseqüentemente, há o redirecionamento dos processos metabólicos para a síntese de compostos altamente reduzidos como fenóis, isoprenoides e alcaloides.

Em condições de déficit hídrico, o processo de fechamento dos estômatos na planta está regulado pelos sinais químicos produzidos quando ocorre a síntese de ABA (ácido abscísico) nas raízes desidratadas.

O fechamento dos estômatos está mais associado com os conteúdos relativos de umidade no solo do que com o teor de água nas folhas. Quando há baixa disponibilidade de água no solo, acontece o fechamento dos estômatos diminuindo a assimilação de CO<sub>2</sub>, a fotossíntese líquida e o acúmulo de biomassa. As alterações bioquímicas, morfológicas e fisiológicas que ocorrem são importantes mecanismos de sobrevivência das plantas para se defender dos estresses causados pelo déficit hídrico em detrimento do crescimento (LISAR et al., 2014).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tolerância da espécie aromática *Lippia alba* ao estresse causado pelos fatores abióticos, como o déficit hídrico controlado, é uma importante característica agrônômica que poderia ser utilizada nos programas de melhoramento genético para desenvolver variedades que requeiram menor aplicação de água na irrigação e que consigam fazer uso eficiente da água.

A *Lippia alba* é uma espécie aromática que poderia ser cultivada como uma alternativa de diversificação dos agroecossistemas e renda dos agricultores(as) familiares nas regiões dependentes de chuva no semi-árido brasileiro.

Na realização deste trabalho foi constatado que há poucos estudos agrônômicos em espécies aromáticas nativas da flora brasileira, principalmente em relação às práticas culturais como o manejo da irrigação e sua influência na produção e composição química dos óleos essenciais.

Em relação à *Lippia alba*, o presente estudo é ainda mais importante, pois é uma espécie aromática de alto valor ecológico e com potencial econômico, que poderia ser cultivada com técnicas de manejo agroecológico e sustentável dos recursos hídricos.

## 6 CONCLUSÕES

O manejo da irrigação com as lâminas de 100 e de 125% da  $ET_0$  favoreceram a produção total de matéria seca das folhas, dos caules e da parte aérea em *Lippia alba*, quimiotipo Linalol.

O rendimento das folhas foi significativo em função do manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência.

O rendimento de óleo essencial das folhas de *Lippia alba*, quimiotipo Linalol, foi afetado pelas lâminas de irrigação.

A produção de óleo essencial por planta foi influenciada no segundo corte (outubro de 2018) pela lâmina de 100% da  $ET_0$  e no terceiro corte (janeiro /2019) pelo manejo com base em 125% da  $ET_0$ .

As proporções relativas das substâncias linalol, geranial,  $\beta$ -elemeno e germacreno D do óleo essencial das folhas de *Lippia alba*, quimiotipo linalol, foram alteradas em função do manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência.

Independente do tratamento (lâminas de irrigação - % da  $ET_0$ ), o linalol e 1,8-cineol foram os constituintes químicos mais abundantes nos óleos essenciais.

Não foram observadas diferenças quantitativas nas proporções relativas médias para a substância 1,8-cineol, em função do manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência.

## REFERÊNCIAS

ABDELMAJEED, N.A et al. The effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants. **Archives Des Sciences**. V. 66, n. 4, p.100 -120, 2013.

Abdi, G et al. Essential Oil Composition at Different Plant Growth Development of Peppermint (*Mentha x piperita* L.) Under Water Deficit Stress. *J. Essential Oil-Bearing Plants*. v. 22, n.2. 2019.

ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas-chromatography/mass spectrometry**, ed. 4.1. 4.1, jan. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução – RDC nº 2, 2007.

ALBUQUERQUE, PE.P.; DURÂES, F.O.M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, DF, Embrapa, 2008.

ARRRAIZA, M. et al. Open Course Ware IPM, 30. industrial use of medicinal and aromatic plants, Madrid, EP. Universidad de Madrid, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICO- ABIHPEC. Panorama do setor higiene pessoal, perfumaria e cosméticos: informação e documentação - apresentação de resultados: 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-**ABNT**. Irrigação localizada: microaspersores - requisitos gerais e métodos de ensaio. PNBR 04:015.08-015.Sao Paulo,11p. 2004.

AZIZ, E.T. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. **American-Eurasian j. Agric & Environ. Sci**. v. 4, n .4, p.443-450, 2008.

BAHER, Z. et al. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. **Flavour Fragr. J**, Tehran, v.17, p. 275–277, 2002.

BANDONI, A. L. ZEPAC, M.P. Os recursos vegetais aromáticos no Brasil. EDUFES. Vitoria. 2008. 624 p.

BANDONI, A.L. DELLACASA. Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica, su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. CYTED, Buenos Aires, 2002. Argentina.

BANDONI, A.; DELLACASA, E. In: DELLACASSA (coord). **Normalización de productos naturales obtenidos de especies de la flora aromática latinoamericana: Proyecto CYTEP**, Porto Alegre: Edipucrs, 2010. v. 1, cap.1, p.11-14.

BARROS, F.M.C et al. Variabilidade sazonal e biossíntese de terpenóides presentes no óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae). **Química Nova**, v. 32, n.4, p.861-867, feb. /out. 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**.8. ed. Viçosa, MG :Editora da UFV, 2008.

BETTAIEB, I et al. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. **Scientia Horticulturae**, Tunisia, v. 120, p. 271–275. 2009.

BETTAIEB, I et al. Water-deficit Impact on fatty acid and essential oil composition and antioxidant activities of Cumin *Cuminum cyminum* L. aerial parts. J. Agric. Food Chem, Hammam-Li, v.59, p. 328–334. 2011.

BLANCO, M. **Rendimiento de biomasa y aceite esencial de quimió tipos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown en respuesta a las prácticas agronómicas y sus propiedades farmacológicas**.2014. Dissertação (Mestrado em plantas medicinais) -Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de la Plata, La Plata, 2014.

BONILLA et al. **Descripción botánica, manejo del cultivo y poscosecha de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown ex Britton & P. Wilson**, Bogotá, DC: UNAL editora, 2013.

BOTERO, H. **Corporación Plantas medicinales; pasado y presente**. Medellín: Corantioquia editora, 2011.

BIASI, L.A.; COSTA, G. Propagação vegetativa de *Lippia alba*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.455-459, jun, 2003.

BOTTIGNON, M. **Estimativas de parâmetros genéticos em *Lippia alba* (Mill.) N. E. BR, quimiotipo linalol, em progênies clonais de meios irmãos**. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical / Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2009.

BURKART, A.E. **Flora ilustrada de entre rios**. Buenos Aires :AGORA.1979.

CAMARGO, M.T.L. **As plantas medicinais e o sagrado: a etnofarmacobotânica em uma revisão historiogeográfica da medicina popular no Brasil**. ICONE. São Paulo. 2014. 279 p.

CAMARGO, A.A.; RODRIGUEZ, N. Expresión fenotípica de la asignación de biomasa en *Lippia organoides* y *Lippia alba*: Respuestas a la disponibilidad de agua en el suelo. **Acta Biol. Colomb.** v 13, n 3, p. 133-148, jun./out, 2008.

CAMARGO, A.A.; RODRÍGUEZ, N.F. Respuestas fenotípicas de *Lippia alba* e *Lippia origanoides* (Verbenaceae) a la disponibilidad de agua en el suelo. **Acta biol. Colomb.** v,13, n 3, p.133-148, 2008.

CASTRO, D. M. MING, L. C. MARQUES, M. O. M. Composição fitoquímica dos óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br em diferentes épocas de colheita e partes do ramo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v 4, n 2, p. 75-79. 2002.

CLAESSEN, M.E.C. Manual de métodos e análises de solo, 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro. Embrapa.CNPS,1997.212. p. (Documento.1).

CORREA DE BARROS, F.M et al. Variabilidade sazonal e biossíntese de terpenóides presentes no óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae) **Quim. Nova.** v, 32, n 4, p.861-867, 2009.

CICCIO, J.; OCAMPO, R. In: DELLACASSA (coord). **Normalización de productos naturales obtenidos de especies de la flora aromática latinoamericana: Proyecto CYTEP**, Porto Alegre: Edipucrs, 2010. v. 1, cap. 1, p. 11-14.

CICCIO, J.; OCAMPO, R. Variación anual de la composición química del aceite esencial de *Lippia alba* (Verbenaceae) cultivada em Costa Rica. **Rev. Lankesteriana.** V 6,3, p.149-154. 2006.

DAUPHIN, N. et al. Haiti, Essential Oils & Synthetic Biology: Potential Impacts on Haiti's Farming Communities Acase study Etc Group,Haiti, out 2016. Disponível em:<https://flowpaper.com/onlinepdfviewer/?theme=dark&pdf=https://abihpec.org.br/site2016/wpcontent/uploads/2018/05/PANORAMA-DO-SETOR-FECHAM20172.pdf&wphosted=1&title=&header=&singlepage=auto&thumbs=1&modified=180607947>. Acesso em: 27 dez. 2018.

DWECK, A.C. The internal and external uses of medicinal plants. **Clinics in dermatology**, USA, v. 27, n. 1, p. 148-58, abril. 2009.

DEWICK, P.M. The shikimate pathway: Aromatic amino acid and phenylpropanoides. In: DEWICK, P.M. **Medicinal Natural Products: a biosynthetic approach**. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 2009. p. 137-184.

FARAHANI, H.A et al. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. **Journal of Medicinal Plants Research.** v 3, n 5, p. 329-333. may, 2009.

FEITOSA MACHADO, T et al. Atividade Antimicrobiana do óleo essencial da erva-cidreira. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa**, Fortaleza, n. 60, p.18, 2012.

FERREIRA, M.; COSTA.M. **Guia para a produção de plantas aromáticas e medicinais em Portugal**, 2014.Disponível em <https://habitatsconservation.files.wordpress.com/2011/11/cocc81digo-de-ecc81tica-na-colheita-de-plantas-aromacc81ticas2.pdf> Acesso em 26 de março. 2019.

FIALLO, M. M, FUENTES.V.M. Estudios fenológicos en plantas medicinales. **Revista Cubana de Farmacia**, v 20, n. 1, p. 44-49.1986.

FIGUEIREDO, A.C et al. Factor affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. **J. Flavour Fragr**, Lisboa, v 23, p. 213–226. 2008.

FIGUEIREDO, A.C et al. Plantas aromáticas e medicinais: óleos essenciais e voláteis. **Rev da APH**, Lisboa, v. 114, p. 29-33, jan. /abril. 2014.

FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA.WWF: manual de buenas prácticas de irrigación: propuestas de WWF para un uso eficiente del agua. Madrid: WWF, 2009.

GLAMOČLIJA, J.et al. Chemical characterization of *Lippia alba* essential oil: An alternative to control green molds. **Brazilian Journal of Microbiology**, Brasilia, DF, v.4, p. 1537–1546, Jan. /mai. 2011.

GONÇALVES DE SOUSA, D. **Caracterização das alterações eletrofisiológicas no nervo isquiático de ratos, produzidas pelo óleo essencial de *lippia alba* e seu constituinte maioritário citral**.2013. Dissertação (Mestrado em Bioprospecção Molecular) -Centro de ciências biológicas e saúde, Universidade Regional do Cariri, Crato, 2013.

GUZMAN, S.P et al. Rivera Desarrollo agrotecnológico de *Lippia alba* (Miller) N. E. Brown ex Britton & Wilson\*. **Rev cien Guillermo de Ockham**, Cali, v 7, n.1, p.201-215, jan. /jun. 2004.

GRUPO INTERGUBERNAMENTALD DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO. IPCC **Special report on climate change: food security**. ed. Genova, Switzerland: IPPC, 2019.

HABER, L. L.; CLEMENTE, F.M.V.T. **Plantas aromáticas e condimentares: uso aplicado na horticultura**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Editora, 2013.

HENNEBELLE, T.S. SAHPAZ, S.J.; AILLEU, F. Ethnopharmacology of *Lippia alba*. **Journal of Ethnopharmacology**, v 116, p.211-222. 2008.

HENNEBELLE, T et al. The essential oil of *Lippia alba*: analysis of samples from french overseas departments and review of previous works. **Chem. Biodiv**. v, n.3, p. 1116-1125. 2006.

HERNÁNDEZ. H.; BONILLA. C.R.; SÁNCHEZ O. M. S. Efecto de la fertilización nitrogenada en la producción y calidad de *Lippia alba* Miller N. E. Brown ex Britton & Wilson. **Rev. Acta Agronómica**, Palmira, v. 53, n. 1 e 2, p. 45-52. 2004.

HOHLENWERGER, J.C. Óleo essencial de *Lippia alba* no manejo e transporte de tilápia do Nilo. 2015 Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal da Bahia, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA -INMET Instituto Nacional de Meteorologia – INMET: Prognóstico climático de inverno. <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em 02/03/2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF THE FLAVOR INDUSTRY.v1, n.2. Código de Boas Práticas da IOFI. FAO, Roma. 2010.

JUNIOR, C.C.; SCHEFFER, M.C.; MING, L.C. **Cultivo agroecológico de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Ministério de desenvolvimento agrícola. Curitiba. 2006.

JUNIOR, CC. SCHEFFER, M, C. **Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. EMATER. Curitiba. 2009.52p.

JANNUZZI, H et al. Avaliação agrônômica e química de dezessete acessos de erva-cidreira [*Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown] - quimiotipo citral, cultivados no Distrito Federal. **Rev. Bras. Pl. Med.** Botucatu, v.13, n.3, p.258-264, 2011.

JANNUZZI, H. **Caracterização de dezesseis acessos *lippia alba* (Mill). N.E. Br no distrito federal**,2006. Dissertação (Mestrado em ciências agrarias). Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

KHALID, KH.A. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). **Int. Agrophysics**. V 20, p.289-296. 2006.

LETIZIA. C.L et al. Fragrance material review of Linalool. **Food and Chemical of Toxicology**. v 42. 943-964. 2003.

LEMOS DE ARRUDA CAMARGO, M.T. **As plantas medicinais e o sagrado: a etnofarmacobotânica em uma revisão histográfica da medicina popular no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Editora Icone, 2014.

LISAR, S.Y. et al. Water Stress in Plants: Causes, Effects and responses. In: RAHMAN, I. M.M and HASEGAWA.H. **Water Stress:1**, Rijeka, 2012.p.1–14.

LOPEZ, N.; DE SOUZA LIMA, M. **Fisiologia da produção**. 1. ed. Viçosa, MG: editorial UFV, 2015.

LORENZI, H. MATOS, J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002. 512p.

LORENZO, D. Composition of a new essential oil type of *Lippia alba* (Mill.) N. E: Brown from Uruguay. **Flavour and Fragrance Journal**. V.16, n.5, p.356- 359, 2001.

LORENZO, P. El cultivo en invernadero y su relación con el clima. **Cuadernos de estudios agroalimentarios**. IFAPA. 2012.

LOZADA, B.S. Efecto in vitro de aceites esenciales de tres especies de *Lippia* sobre *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans et al, agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.). **Acta agronómica**, v 61.n 2, p. 102-110, jun. 2012.

MANTOVANI, E. C. Avalia: Programa de avaliação por aspersão e localizada, Viçosa, MG:UFV. 2001.

MARCHESE, J.Á. FIGUEIRA, G.M. O uso de tecnologia pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**. V,7, p. 86-96. 2005.

MARQUES, M. O. M. et al. **Essential Oils: History, Biosynthesis, and Agronomic Aspects**. In: Medicinal Essential Oils: Chemical, Pharmacological and Therapeutic Aspects. New York: Nova Science Publishers, 2012, v. 1, p. 3-22.

MARQUES DE CARVALHO, L. Orientações Técnicas para o Cultivo de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares. **Boletim Técnico Embrapa Tabuleiros Costeiros**., Aracaju, SE, n. 70, p. 1-10, 2015.

MEJIA, K.; REGILIO, E. **Plantas medicinales de uso popular en la Amazonía peruana**. 1. ed. Lima: AECI-IIAP Editora, 2000.

MING, L, C. AMOROZO, M, C. KFFURI, C.W. **Agrobiodiversidade no Brasil**. NUPEEA. Recife. 2016.

MING, L.C.; ERHLET, P.; SEGUEIRA, J.; MARQUES, M.O.M. Botânica, fitoquímica, cultivo e melhoramento genético de *Lippia alba* (Mill). N.E.Br. (Verbenaceae). in: CAMPANER DO SANTOS.L.; FURLAN.M.; RODRIGUES DE AMORIM.M. (coord), **Produtos Naturais Bioativos**, São Paulo: 2016. p.35-101.

MING, L.C. Plantas medicinais aromáticas e condimentares. Avanços na pesquisa agrônoma. Volumen II. Sao Paulo, Brasil: Universidade Estadual Paulina, p. 165-190. 1998.

MING, L.C. **Influencia de diferentes níveis de adubação orgânica na produção de biomassa e óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill)**. N.E.Br.(Verbenaceae).1992. Dissertação (Mestrado em botânica). Universidade Federal de Paraná, Curitiba,1992.

MOINUDDIN, M. et al. **Drought stress effects on medicinal and aromatic plants and the possible stress amelioration by mineral nutrition.** in: Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology. Global Science Books. 2012. p.69-82

MONTANARI, R.M et al. Plasticidade fenotípica da morfologia externa de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown] (verbenaceae) em resposta a níveis de luminosidade e adubação. **Rev Bras de plantas medicinais**, Botucatu, v 6, n. 3, p.-96-101. 2004.

MUÑOZ, A.M et al. Morfología y anatomía del pronto alivio. **Acta Agronómica**, v 56, n.1, p. 7-11. 2007.

OCAMPO, R. A.; VALVERDE, R. **Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales.** 1. ed. San Jose de Costa Rica: Lara & Aso Editora, 2000.

OLMOS, E et al. Subcellular Effects of Drought Stress in *Rosmarinus officinalis*. **Plant Biology**, Espinardio, v 9, n.1, p. 77–84, mar. /jun. 2006.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO, Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua: Estudio FAO Riego y Drenaje, Roma, n. 66, p.1-520, 2014.

PARRA, M.I et al. Morfología, anatomía, ontogenia y composición química de metabolitos secundarios en inflorescencias de *Lippia alba* (Verbenaceae). **J. Trop. Biol**, v. 58, n. 4, p. 1533-1548, jun./jul. 2010.

PERONZIN, M. M.; FRANCISCO.N. Revisão bibliográfica das sinonímias populares das 16 plantas medicinais selecionadas para estudos pelo Projeto de fitoterapia do SUDS-PR., 11. Joao Passoa, PB, 1990.

PETROPOULOS, S.A. et al. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. **Scientia Horticulturae**. v, 115, p.393–397. 2008

PINO.J. A et al. Composición y propiedades antibacterianas del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown. **Rev cubana Farm**.v,30, n.1, p.1-6. 1996.

PORTO VERDECIA, R et al. **Agrotecnología para el cultivo de salvia sija o pronto alvio** In: MARTINES, J.V.; BERNAL.H. I.; CÁCERES.A (coord.). Fundamentos de agrotecnología de cultivo de planta medicinales iberoamericanas, 2000.

RAHMANI, N Effects of nitrogen fertilizer and irrigation regimes on seed yield of calendula (*Calendula officinalis* L.). J. Agric. **Biotech**, Takestan Branch, v.1, n.1, p. 24-28, 2009.

RAIJ. B.V et al. Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais, Campinas,IAC, p.285. 2001.

RAO, G.P et al. Studies on chemical constituents and antifungal activity of leaf oil of *Lippia alba* (Mill). **Indian Journal of Chemical Technology**, Kunraghat, v.7, n.6, p.332-335. 2000.

RASHID-OR-MAMIM, A.N.M et al. A comprehensive ethno-pharmacological review on *Lippia alba* M. **International Journal of Biomedical Materials Research**, v. 1, n. 1, p. 14-20, Jul. 2013.

REICHARDT, K. TIMM, L.C. **Água e sustentabilidade no Sistema solo-planta-atmosfera**.1. ed. Barueri, SP: Manole editora, 2016.

RICCIARDI, G. A. L et al. Comparado de la Composición de los Aceites Esenciales de Especies Autóctonas de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. **Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura**, Buenos Aires, v. 19, p. 27- 32. 2003.

RINGUELET, J. A et al. Actividad Insecticida del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown sobre *Tribolium castaneum* Herbst en granos de trigo (*Triticum aestivum* L.) **Rev.Bras.de Agroecologia**. v. 9, n.2, p. 214-222. 2014.

RUFINO, E. R. Estimativas de parâmetro genéticos e seleção de clones Linalol em . 2008. 130 f. Dissertação (em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas-SP, 2008.

SALIMENA, F.R.G.; MULGURA, M. *Lippia alba* in: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15171>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

SANGWAN, N. S. Regulation of essential oil production in plants.in **Plant Growth Regulation**. v, 34, p.3–21, 2001.

SANTOS, M.R.A. INNECCO, R. Adubação orgânica e altura de corte da erva-cidreira brasileira. **Horticultura Brasileira**, v 22, n. 2, p. 182–185, abr./jun. 2004.

SANTOS-MENDES, M.F. B. Caracterização **morto-anatômica, fotoquímica e molecular de oito formas de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br (Verbenaceae)**. 2001. Teses (Doutorado em Horticultura) -Faculdade de ciências agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SCHIPPMANN, U.; LEAMAN, D.; CUNNINGHAM, A.B. **A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects**. In: BOGERS, R. JCRACKER, L, J AND LANGE, D: Medicinal and aromatic plants, Netchherlands: Springer, 2006. p. 75-95.

SCHMIDT, E. **Production of Essential Oils**. In: HUSNU CAN BASER, K; Gerhard BUCHBAUER, G. Handbook of essential oils: science, technology, and applications. Boca Raton: CRC PRESS editor. p. 83-121. 2010.

SCHOCKEN, N.R.L. Obtenção de quimiotipos híbridos de (MILL) N.E. BROWN. Campinas.2007. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical), Instituto agrônomo de campinas, Campinas, 2007.

SELMAR, D. KLEINWACHTER, M. influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Industrial Crops and Products**. v, 42, p.558–566. 2013.

SHARIFI, P. The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), Salicylic Acid and Drought Stress on Growth Indices, the Chlorophyll and Essential Oil of Hyssop (*Hyssopus officinalis*) **Biosciences and Biotechnology Research Asia**, Urmia, v.14, n.3, p.1033-1042, Jul. /ago. 2017.

STASHENKO, E. **Aceites essenciais**. 1. ed. Bucaramanga: Editora da UFS, 2009.

STASHENKO, E.; JARAMILLO, B.EJ.; R. MARTINEZ, J.R. Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante in vitro de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae. **Rev. Acta. Colom**, Bucaramanga, v, 27, n 105, p.579-598. 2003.

STASHENKO, E. E. et al. Chromatographic and mass spectrometric characterization of essential oils and extracts from *Lippia* (Verbenaceae) aromatic plants. **J. Sep. Sci**, Bucaramanga, v. 36, p. 192–202, set. /out. 2013.

TAVARES, I.E et al. *Lippia alba*: estudos químicos, etnofarmacológicos e agrônômicos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, PR, v.4, n.1, p.204–220, 2011.

TAVARES, T. E et al. Análise do óleo essencial de folhas de três quimiotipos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. (Verbenaceae) cultivados em condições semelhantes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. V. 15, n.1, p.1-5, jan./Mar. 2005.

TOSCANO, J.Y. Uso tradicional de plantas medicinales en la vereda San Isidro, Municipio de San Jose, Boyaca: Un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. **Acta Biológica Colombiana**, v, 11, n. 2, p. 137-146, jun./jul. 2006.

VAN DEN DOOL, H.;KTRATZ, P.D. generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. **Journal of chromatography**. v,11, p.463-471.1963.

VERA, A.P et al. Efecto protector del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown sobre la toxicidad del mercurocromo en raíces de *Allium cepa* L. **Rev Cubana de Plantas Medicinales**, v 15. n,1, p.27-37. 2010.

VENTRELLA, M.C.; MING, L.C. Produção de matéria seca e óleo essencial em folhas de erva-cidreira sob diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. **Horticultura Brasileira**, v, 18, p. 972-974. 2000.

VICCINI, L. F et al. Chromosome numbers in the genus *Lippia* (Verbenaceae). **PI. Syst. Evol**, v 256, p. 171–178. 2006.

VIT, P.; SILVA, B; MELENDEZ, P. *Lippia alba* N.E.Br. Ficha *Lippia alba* N.E.Br. Ficha botánica de interés apícola en Venezuela, No. 2 Cidrón. **Rev. de la Facultad de farmacia**. v 43, 2002.

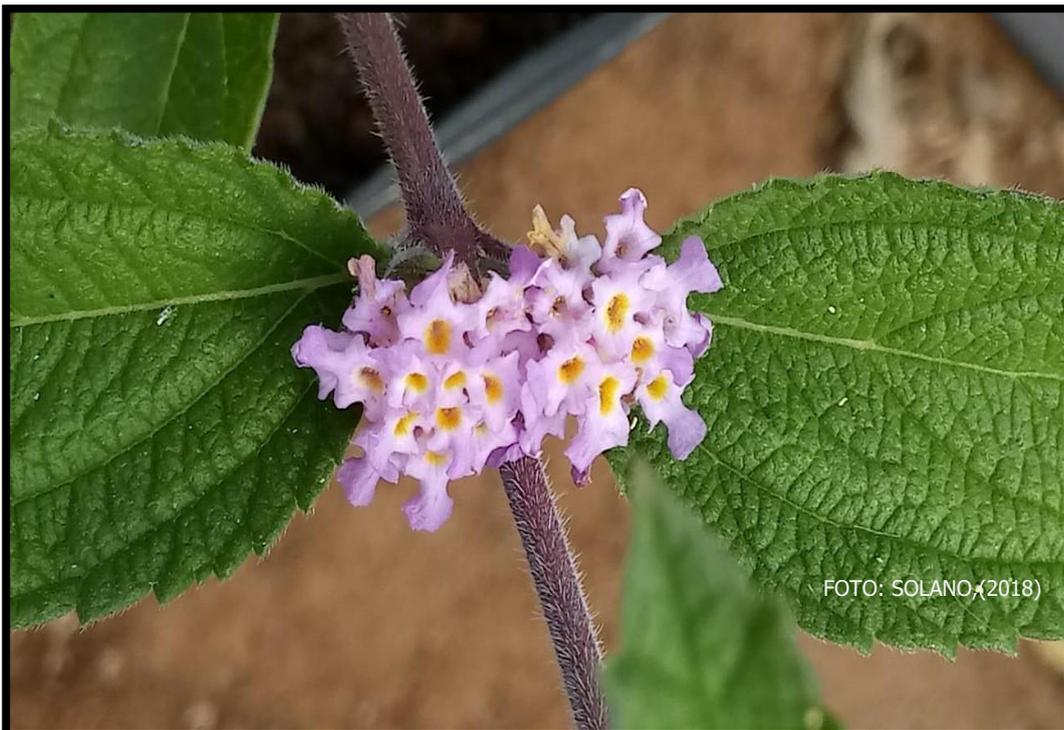
YAMAMOTO, P.Y. **Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br.**2006. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Instituto agrônômico de Campinas, Campinas, 2006.

Zambrano, E. L et al. Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de los aceites esenciales de especies y accesiones de *Lippia* spp en condiciones del Valle del Cauca. **Acta Agronómica**, Valle del Cauca, v 62, n.2, p, nov./nov. 2013.

**APÊNDICE A – Muda de *Lippia alba*, quimiotipo linalol.**



**APÊNDICE B – *Lippia alba*, quimiotipo linalol.**



**APÊNDICE C – Casa de vegetação : Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu – SP**



**APÊNDICE D – Poda de formação das plantas**



**APÊNDICE E – Estação meteorológica com um coletor automático digital de dados (datalogger Campbell® modelo (CR10X) e Tanque classe A.**



**APÊNDICE F – Preparação das amostras para a extração e rendimento do óleo essencial das folhas de *Lippia alba*, quimiotipo linalol**



APÊNDICE G – Extração do óleo essencial das folhas de *Lippia alba* , quimiotipo linalol por hidrodestilação em aparato tipo Clevenger.

9

