

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE DO RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, TEOR DE ÓLEO
ESSENCIAL E TROCAS GASOSAS EM *Aloysia triphylla*
SUBMETIDA A DIFERENTES DISPONIBILIDADES
HÍDRICAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luciano Schwerz

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2013

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL E
TROCAS GASOSAS EM *Aloysia triphylla* SUBMETIDA A
DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS**

Luciano Schwerz

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Augusto Manfron

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Schwerz, Luciano

Produção de biomassa, teor de óleo essencial e trocas gasosas em *Aloysia triphylla* submetida a diferentes disponibilidades hídricas / Luciano Schwerz. - 2013.

69 f.; 30cm.

Orientador: Dr Paulo Augusto Manfron

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2013.

1. Transpiração 2. Resistência Estomática 3. Sazonalidade 4. Óleo essencial 5. Disponibilidade Hídrica I. Manfron, Paulo Augusto II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte do RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:
Agricultura e Ambiente**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL E TROCAS
GASOSAS EM *Aloysia triphylla* SUBMETIDA A DIFERENTES
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS**

elaborada por
Luciano Schwerz

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Augusto Manfron
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Braulio Otomar Caron,

Prof. Dr. Valmor Antonio Konflanz,

Frederico Westphalen, 16 de janeiro de 2013.

*Aos meus pais, Jorge e Noeli,
ao meu irmão Felipe,
e incondicionalmente a minha esposa
Simone e meu filho Davi Germano
que tanto me apoiaram na conquista
de mais essa vitória em nossas vidas.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte da vida, inspiração e sabedoria.

A minha família que, de forma singela e incondicional, soube me dar acima de tudo carinho e amor para vencer os obstáculos do dia a dia.

A minha esposa Simone e meu filho Davi Germano que souberam entender momentos de dificuldade e preocupação, momentos que nos ensinaram a ser mais compreensivos e fortes.

Ao Professor Dr. Braulio Otomar Caron que me recebeu prontamente para essa etapa da vida, pelo apoio, carinho, confiança e principalmente pelos valiosos ensinamentos.

Ao Professor Dr. Paulo Augusto Manfron pela orientação, conselhos e ensinamentos transmitidos.

Aos Professores Velci Queiroz de Souza, Denise Schmidt, Vanderlei Rodrigues da Silva e Felipe Gustavo Pilau pelo auxílio nos equipamentos, informações, conhecimentos transmitidos, além da amizade e companheirismo de longa data.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro, através da concessão da bolsa de mestrado. Assim como à Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS) que, através do Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA), possibilitou a realização deste trabalho.

Aos eternos amigos e colegas do Laboratório de Agroclimatologia Elvis, Maurício, Gean, Felipe, Marvius, Douglas, Janine, Renes, e em especial ao colega de sala Elder. Pela convivência agradável e o incentivo em todas as fases desse trabalho, assim como pela amizade e auxílios prestados.

Aos colegas de república pela amizade e companheirismo de todos os dias. Enfim, aos demais professores, colegas e amigos que por ventura não estão aqui citados e que, de uma maneira ou de outra, contribuíram com este trabalho, agradeço-lhes de coração.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PRODUÇÃO DE BIOMASSA, TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL E TROCAS GASOSAS EM *Aloysia triphylla* SUBMETIDA A DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

Autor: Luciano Schwerz
Orientador: Paulo Augusto Manfron
Data e Local de defesa: Frederico Westphalen, 16 de janeiro de 2013.

A crescente demanda por fármacos no Brasil nos remete ao aperfeiçoamento nas práticas de cultivo de plantas medicinais, para que além de quantidade a qualidade seja preconizada. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento, desenvolvimento, produção de óleo essencial, bem como trocas gasosas e parâmetros fisiológicos em *Aloysia triphylla* submetida a diferentes disponibilidades hídricas ao longo das quatro estações do ano. O experimento foi conduzido em estufa plástica pertencente ao laboratório de agroclimatologia da UFSM *campus* de Frederico Westphalen – RS, sob um delineamento experimental de blocos completos casualizados com quatro repetições. As avaliações foram realizadas no dia que marcou a metade de cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera), sendo coletado todo o material vegetativo 20 cm acima do solo. A disponibilidade hídrica (DH) foi baseada na evapotranspiração de referência para o ambiente externo sendo aplicados 125, 100, 75 e 50% da ETo em um turno de rega de dois dias, totalizando uma lâmina de 1620,06; 1304,05; 988,03 e 672,02 mm. ano⁻¹, respectivamente. A produção de biomassa, a altura e a medida indireta de clorofila (SPAD) apresentaram respostas lineares e cúbicas a disponibilidade hídrica, sendo negativo para redução da mesma. O efeito da sazonalidade nos revela que a estação primavera apresenta crescimento e produção de biomassa mais vigorosa, superando as demais estações, ao passo que o inverno foi responsável pelo menor crescimento e produção. O teor de óleo essencial foi afetado positivamente pela disponibilidade hídrica, sendo a lâmina de maior rendimento a de 75 e 50 % da ETo respectivamente. As estações do ano verão e inverno detiveram os maiores teores de óleo essencial nas folhas. Quanto as variáveis que compreendem as trocas gasosas da planta com a atmosfera, a transpiração foi menor em função da redução da DH, promovendo consequentemente uma maior resistência estomática e aumento da temperatura da folha, sendo a face abaxial responsável pela maior parte da transpiração total da planta.

Palavras-chave: Transpiração. Resistência estomática. Teor de óleo essencial. Lâmina de irrigação.

ABSTRACT

Master dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

BIOMASS PRODUCTION, ESSENTIAL OIL CONTENT AND GAS EXCHANGE IN *Aloysia triphylla* SUBMITTED TO DIFFERENT WATER AVAILABILITY

Author: Luciano Schwerz
Advisor: Paulo Augusto Manfron
Defense Date and Place: Frederico Westphalen, January 16, 2012.

The increasing demand for drugs in Brazil brings us to the improvement in cultivation of medicinal plants, that amount plus the quality is recommended. This study aimed to evaluate the growth, development, essential oil production as well as gas exchange and physiological parameters in *Aloysia triphylla* under different water availability throughout the four seasons. The experiment was conducted in greenhouse belonging to the agroclimatology laboratory of the UFSM campus of Frederico Westphalen - RS, in a randomized complete block design with four replications. Evaluations were made on the day that marked the half of each season (summer, autumn, winter and spring), and all plant material collected 20 cm above ground. The water availability (DH) was based on the reference evapotranspiration to the external environment being applied 125, 100, 75 and 50% of ETo in an irrigation interval of two days, totaling a blade 1620.06, 1304.05; 988, 03 and 672.02 mm. year⁻¹, respectively. The production of biomass, height and indirect measurement of chlorophyll (SPAD) had linear and cubic responses to water availability, being negative to reduce it. The effect of seasonality reveals that the spring season has growth and biomass production stronger, surpassing all other stations, while the winter was responsible for lower growth and production. The essential oil content was positively affected by water availability, being the depth of the highest yield of 75 and 50% of ETo respectively. The seasons summer and winter detained the highest content of essential oil in the leaves. And the variables which comprise plant gas exchange with the atmosphere, perspiration was lower due to the reduction of DH, thus promoting a greater stomatal resistance and increased temperature of the sheet, and the abaxial responsible for most of the total transpiration plant.

Keywords: Transpiration. Stomatal resistance. Essential oil content. Water depth.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA E TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA E À VARIAÇÃO SAZONAL

- TABELA 1 - Caracterização física do solo da área experimental. Frederico Westphalen – RS, 2012. 28
- TABELA 2 - Caracterização química do solo da unidade experimental. Frederico Westphalen – RS, 2012. 28
- TABELA 3 - Nível de reposição hídrica total de cada ciclo e diário (mm. dia⁻¹), nas respectivas disponibilidades hídricas ao longo das quatro estações do ano. Frederico Westphalen – RS, 2012. 30
- TABELA 4 - Resumo da análise de variância para os parâmetros, área foliar (AF - cm². planta⁻¹), índice de área foliar (IAF - m². m⁻²), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF – g. planta⁻¹), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - g. planta⁻¹) e total (MST e MFT - g. planta⁻¹), medida indireta de clorofila (índice SPAD), altura de planta (AP – cm), teor de óleo (TEOR - %), e produtividade de óleo (Kg. ha⁻¹) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012..... 35
- TABELA 5 - Efeito da sazonalidade na área foliar (AF - cm². planta⁻¹), índice de área foliar (IAF - m². m⁻²), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF – g. planta⁻¹), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - g. planta⁻¹) e total (MST e MFT - g. planta⁻¹), medida indireta de clorofila (índice SPAD), altura de planta (AP – cm), teor de óleo (TEOR - %), e produtividade de óleo (Kg. ha⁻¹) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.. 36
- TABELA 6 - Efeito da Sazonalidade em diferentes níveis de disponibilidade hídrica nas variáveis (AF - cm². planta⁻¹), índice de área foliar (IAF - m². m⁻²) e Teor de óleo (TEOR - %), em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012... 37

ARTIGO 2 - TROCAS GASOSAS E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

- TABELA 1 - Resumo da análise de variância para variáveis fisiológicas, temperatura da folha (T_{fol} °C), Transpiração E (µg.cm⁻².s⁻¹), resistência a difusão de vapor Rs (s. cm⁻¹) e radiação fotossinteticamente ativa PAR (µmol. s⁻¹. m⁻²), em planta medicinal (*Aloysia triphylla*). Frederico Westphalen, RS, 2012..... 50

TABELA 2 - Desdobramento da interação entre época, disponibilidade hídrica e face da folha, para as variáveis fisiológicas E: Transpiração ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e Rs: resistência a difusão de vapor ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. 2012, Frederico Westphalen – RS. 54

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA E TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA E À VARIAÇÃO SAZONAL

FIGURA 1 – Temperatura média, máxima e mínima (° C) no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012. 33

FIGURA 2 – Umidade relativa do ar média mínima e máxima no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012. 33

FIGURA 3 – Radiação solar global incidente no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012. 34

FIGURA 4 – Efeito da disponibilidade hídrica nos parâmetros morfológicos, área foliar (AF - cm². planta⁻¹), índice de área foliar (IAF - m². m⁻²), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF – g. planta⁻¹), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - g. planta⁻¹) e total (MST e MFT - g. planta⁻¹), medida indireta de clorofila (índice SPAD) e altura de planta (AP – cm), em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012. 39

FIGURA 5 – Efeito da disponibilidade hídrica sobre o teor de óleo essencial em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS. 40

ARTIGO 2 - TROCAS GASOSAS E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

FIGURA 1 – Relações fisiológicas e térmicas da espécie *Aloysia triphylla* nas estações verão e inverno, em função da disponibilidade hídrica, onde (A) T_{fol}: temperatura da folha (°C), (B) E: Transpiração (μg.cm⁻².s⁻¹), (C) Rs: resistência a difusão de vapor (s. cm⁻¹) e (D) RFA: radiação fotossinteticamente ativa (μmol. s. m⁻²). Frederico Westphalen – RS, UFSM 2012 51

FIGURA 2 – Relações fisiológicas e térmicas nas faces Abaxial (inferior) e Adaxial (superior) na espécie *Aloysia triphylla*, em função da disponibilidade hídrica, onde (A) T_{fol}: temperatura da folha (°C); (B) E: Transpiração (μg.cm⁻².s⁻¹); (C) Rs: resistência a difusão de vapor (s. cm⁻¹) e (D) RFA: radiação fotossinteticamente ativa (μmol. s. m⁻²). 2012, Frederico Westphalen - RS. 53

FIGURA 3 – Desempenho fisiológico da espécie *Aloysia triphylla* nas faces Abaxial (A) e Adaxial (B) nas estações verão e inverno em função da disponibilidade hídrica, onde E: Transpiração (μg.cm⁻².s⁻¹); Rs: resistência a difusão de vapor (s. cm⁻¹). 2012, Frederico Westphalen - RS. 55

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 CAPÍTULO I | 15 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 Aspectos Relevantes da Espécie..... | 15 |
| 2.2 Metabolismo secundário e as adaptações ao ambiente..... | 16 |
| 2.3 Respostas fisiológicas a disponibilidade hídrica | 17 |
| 2.4 Stress hídrico e o metabolismo das plantas | 18 |
| 2.5 Sazonalidade..... | 19 |
| 2.6 Referências Bibliográficas..... | 20 |
| 3 CAPÍTULO II..... | 25 |
| ARTIGO 1 - BIOMASSA E TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM <i>Aloysia triphylla</i> (L'HÉRIT) BRITTON SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA E À VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS..... | 25 |
| 3.1 Resumo..... | 25 |
| 3.2 Abstract..... | 26 |
| 3.3 Introdução | 26 |
| 3.4 Material e Métodos | 28 |
| 3.4.1 Caracterização da área e ambiente em estudo..... | 28 |
| 3.4.2 Determinação do teor de óleo..... | 31 |
| 3.4.3 Análise dos dados..... | 31 |
| 3.5 Resultados e Discussão | 32 |
| 3.6 Conclusões | 40 |
| 3.7 Referências Bibliográficas..... | 41 |
| 4 CAPÍTULO III | 44 |
| ARTIGO 2 – TROCAS GASOSAS E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM <i>Aloysia</i> <i>triphylla</i> (L'HÉRIT) BRITTON EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.... | 44 |
| 4.1 Resumo..... | 44 |
| 4.2 Abstract..... | 45 |
| 4.3 Introdução | 45 |
| 4.4 Material e Métodos | 47 |
| 4.4.1 Caracterização da área em estudo | 47 |
| 4.4.2 Delineamento experimental e fatores estudados | 47 |
| 4.4.3 Variáveis analisadas | 48 |
| 4.4.4 Análise dos dados..... | 49 |
| 4.5 Resultados e Discussão | 49 |
| 4.6 Conclusões | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 4.7 Referências Bibliográficas..... | 56 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 59 |
| 6 CONCLUSÃO GERAL | 60 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |

1 INTRODUÇÃO

Nos vegetais, além do metabolismo primário, responsável pela produção de celulose, lignina, proteínas e outras substâncias que realizam as principais funções vitais, encontra-se o metabolismo secundário, do qual resultam substâncias às vezes produzidas em pequenas quantidades e responsáveis por funções nem sempre bem definidas nas plantas (CRAVEIRO et al., 1981). A alguns destes metabólitos secundários é dado o nome de óleos essenciais.

Estes óleos essenciais nada mais são que misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, com baixo peso molecular, geralmente odoríferas e líquidas, constituídos na maioria das vezes, por moléculas de natureza terpênica. Frequentemente apresentam odor agradável e marcante. São na maior parte das vezes extraídos das partes vegetativas e reprodutivas através de arraste à vapor d' água, hidrodestilação ou expressão de pericarpo em frutos cítricos.

A produção de óleos essenciais no setor industrial brasileiro desenvolveu-se a partir da década de 1940, com introdução, cultivo e produção dos óleos essenciais de menta, eucalipto, capim-limão e citronela, dentre outros (MARQUES, 2004), sendo o Brasil hoje o maior produtor mundial de óleo essencial cítrico. O óleo essencial de *Aloysia triphylla* possui ação espasmolítica e digestiva apresentando um grande valor comercial (UESUGI et al., 2003), servindo esta como uma fonte de renda no setor agrícola, principalmente em pequenas propriedades que dispõem de mão de obra familiar e necessitam aumentar a renda por unidade de área.

Na produção de plantas medicinais e aromáticas é imprescindível a obtenção de altos rendimentos de materiais vegetais e elevados conteúdos de princípios ativos. A quantidade e a qualidade destes metabólitos especiais produzidos durante o desenvolvimento do vegetal podem ser afetadas pela radiação solar, temperatura, disponibilidade hídrica, ventos fortes, altitude, solo, época de coleta, entre outros (EVANS, 1991; VITTI; BRITO, 1999; LARCHER, 2000).

Antes de iniciar o cultivo de plantas medicinais e aromáticas em escala comercial, faz-se necessário conhecer o comportamento da espécie em relação às características climáticas da região de plantio, aos tratos culturais e aos fatores bióticos que são responsáveis pelo desenvolvimento da planta. De acordo com Silva et al., (2002), poucos são os trabalhos referentes ao efeito da deficiência hídrica em plantas medicinais, principalmente em relação

aos produtos do metabolismo secundário. O efeito varia com o tipo, a intensidade e a duração do estresse, podendo aumentar ou diminuir o teor de óleos essenciais.

Com base no exposto acima o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a produção de biomassa, crescimento, teor e produção de óleo essencial, bem como, mensurar as taxas de trocas gasosas e os parâmetros que à regem em *Aloysia triphylla*, submetida a diferentes disponibilidades hídricas ao longo das quatro estações do ano.

Nesse sentido, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- O teor de óleo aumentará com a redução da disponibiliza hídrica;
- A área foliar e a produção de biomassa serão afetadas negativamente pela redução na disponibilidade hídrica;
- A produção de biomassa será maior nas estações mais quentes do ano;
- A transpiração e a resistência à difusão de vapor pelos estômatos serão afetadas pela disponibilidade hídrica;
- As plantas cultivadas sob menor disponibilidade de água apresentarão maior temperatura da folha e resistência estomática.

2 CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos Relevantes da Espécie

Conforme Lorenzi & Matos (2002), *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton, pertencente à família Verbenaceae, também é conhecida pelos nomes científicos *Aloysia citriodora* Ortega ex Pers., *Lippia citriodora* (Lam.) Kunth, *Lippia triphylla* (L'Hérit) Kuntze, *Verbena triphylla* L'Herit e *Zapania citriodora* (Lam.). É conhecida popularmente por cidrão, erva-cidreira, cidró, cidró pessegueiro, erva-luísia e cidrozinho. É denominada verbena em Marrocos (KOUHILA et al., 2000), lemon verbena nos Estados Unidos da América (CARNAT et al., 1999), cedrón e hierba Luisa na Argentina e Chile (GIL et al., 2003).

Os primeiros relatos de sua ocorrência foram na América do Sul e sua origem é, provavelmente, chilena. É considerada uma espécie perene com hábito arbustivo com porte de 2 a 3 m de altura. Suas folhas apresentam um aspecto brilhante, são pontiagudas e levemente áspera ao toque, emitem um cheiro que lembra limão quando tocadas. É sensível ao frio, perdendo duas folhas quando exposta a temperaturas inferiores a 0 ° C. Os principais elementos encontrados em seu óleo são o Citral (30 a 35 %), neral e geranial (LAWLESS, 1992).

Trata-se de uma erva adstringente e aromática, rica em óleo volátil, que age como sedativo brando. Suas folhas são empregadas no controle de resfriados febris, como estimulante, tônico, antiespasmódico, carminativo, eupéptico e calmante. Em aromaterapia, é empregada contra problemas nervosos e digestivos e para acnes. Também é usada para tratamento de melancolia, afecções do coração e histeria.

Além das utilizações acima citadas, em estudos realizados com seu óleo essencial foram encontrados resultados quanto a suas ações bacteriostáticas (MÖSE; LUKAS, 1957), inseticida, bactericida (LORENZI; MATOS, 2002) e antimicrobiana (CARNAT et al., 1999). Figueira et al., (2003) detectaram atividade antimicrobiana com Concentração Mínima

Inibitória (MIC) de 0,05mg/mL do óleo essencial de *A. triphylla*, contra *Streptococcus faecium*, bactéria responsável por infecções de garganta.

2.2 Metabolismo secundário e as adaptações ao ambiente

Os vegetais produzem uma grande variedade de compostos orgânicos que muitas vezes não parecem ter uma função direta no seu crescimento e desenvolvimento. Tais substâncias são conhecidas como metabólitos secundários, produtos secundários ou produtos naturais (TAIZ; ZEIGER, 2008).

Os produtos secundários, popularmente chamados de óleos essenciais, são, basicamente, elementos voláteis contidos em vários órgãos das plantas e assim são denominados devido à composição lipofílica que apresentam, quimicamente, diferenças da composição glicerídica dos verdadeiros óleos e gorduras.

As funções fisiológicas dos metabólitos secundários nas plantas ainda não estão completamente esclarecidas, mas sua produção é associada à defesa da planta contra agentes externos tais como doenças e pragas. Estes metabólitos possuem funções ecológicas importantes para a sobrevivência da espécie, sendo a maioria produzido metabolismo secundário das plantas (MARTINS et al., 2000). Contudo, produtos secundários apresentam também ação protetora em relação a estresses abióticos, como aqueles associados com mudanças de temperatura, conteúdo de água, intensidade de luz, exposição à UV e deficiência de nutrientes minerais (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

Este metabolismo não é essencial para o crescimento e desenvolvimento do indivíduo, mas é essencial para a sobrevivência e continuidade da espécie dentro do ecossistema. A produção de princípios ativos não tem um custo metabólico excessivo para a planta e trouxe para ela uma vantagem adaptativa. Portanto, o metabolismo secundário é responsável pelas relações entre o indivíduo e o ambiente onde ele se encontra e, por causa do seu caráter adaptativo, pode ser manipulado (MONTANARI JUNIOR, 2004).

O clima exerce uma influência direta sobre a vegetação, assim como uma influência indireta, via solo. As informações obtidas dos diversos estudos fitoquímicos realizados sugerem que a síntese e o acúmulo de metabólitos secundários são suscetíveis à variação sazonal, geográfica e talvez até circadiana, apesar desta hipótese não ter sido ainda

confirmada devido à escassez de trabalhos que enfoquem esses parâmetros (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.3 Respostas fisiológicas a disponibilidade hídrica

A perda de água pela planta na forma de vapor, através de suas folhas é um processo natural e passivo, sem o qual a planta não sobreviveria, a esse processo dar-se a o nome de Transpiração (PEREIRA et al., 2002). Ao perder água, a planta realiza o processo de troca gasosa com a atmosfera, acumulando CO₂ em seus tecidos. Este fluxo de troca é regido por um gradiente de pressão formado entre o sistema solo-planta-atmosfera, sendo a atmosfera, na maior parte do tempo, a responsável pelos menores potenciais.

A resposta ao déficit hídrico em plantas inicia-se a partir de uma complexa via de reações, começando com a percepção do estresse, o qual desencadeia uma cascata de eventos moleculares, culminando em vários níveis de respostas fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento (BRAY, 1993). Uma mudança no potencial osmótico, através da membrana plasmática, pode ser a maior causa de respostas ao estresse hídrico em nível molecular (BRAY, 1993).

Assim vários trabalhos apontam a existência de três grupos de genes que desencadeiam respostas fisiológicas, sendo um grupo relacionado à proteção da planta contra o estresse ambiental produzindo osmoprotetores (ex, síntese de manitol); um segundo grupo que regula a expressão gênica e a transdução de sinal de respostas ao estresse e ainda um terceiro grupo, o qual não apresenta uma função conhecida.

Plantas em estresse hídrico, normalmente, apresentam maior acúmulo de ácido abscísico (ABA), o qual exerce vários efeitos fisiológicos sobre o desenvolvimento das plantas e tem sido identificado como mensageiro nas vias de resposta de percepção de estresses ambientais. Alguns estudos têm demonstrado que a aplicação de ABA em plantas intactas pode aumentar a sua tolerância ao estresse (YIN et al., 2004). No caso de plantas medicinais, o ABA desencadeia mudanças no conteúdo de alguns compostos secundários tais como fenóis, taninos, prolina, poliaminas e terpenoides (FONSECA et al., 2007; LAZCANO-FERRAT; LOVATT, 1999).

Plantas submetidas a estresses controlados, podem desenvolver mudanças nos níveis de metabolitos secundários presentes em seu tecido, alguns dos quais podem ser de interesse

medicinal. Sabe-se que em várias plantas o estresse ambiental aumenta o acúmulo de compostos fenólicos (KEINANEN, 1999), por exemplo.

As plantas cultivadas em estufas são expostas a condições de luminosidade alterada devido a interação da radiação solar com a cobertura do local. Trabalhos destacam que o comprimento de onda da radiação solar incidente pode alterar a partição de carbono em plantas e induz a alterações nos níveis de metabolitos secundários (ALBA et al., 2000). A exposição à radiação de onda mais longas pode aumentar a atividade do ciclo da xantofila e consequentemente a produção de vários metabolitos secundários (THIELE et al., 1996).

O estresse hídrico é outro fator que pode potencialmente alterar a concentração de compostos principais em plantas medicinais. Plantas sob estresse hídrico normalmente apresentam acúmulo de ABA (KOBASHI et al., 2000; JENSEN et al., 1996), que desencadeia mudanças no conteúdo de outros metabolitos secundários, tais como compostos fenólicos, taninos, prolina, poliaminas e terpenóides (CHANG-HUNG, 1999; HORNER, 1990; LAZCANO-FERRAT; LOVATT, 1999).

2.4 Stress hídrico e o metabolismo das plantas

O stress hídrico por escassez ou excesso de água é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR; SINCLAIR, 1996). Neste contexto, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 1991). A necessidade de resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que a conduz economizar água para uso em períodos posteriores (MCCREE; FERNÁNDEZ, 1989) levando assim as plantas tentarem atingir a produção de sementes.

O lento desenvolvimento de deficiência hídrica pode induzir o ajustamento osmótico em algumas espécies, resultando na manutenção da turgescência celular a baixos potenciais hídricos. Este é um importante mecanismo de tolerância à seca, porque capacita a planta a continuar com o seu crescimento normal e com a sua produção rentável, por meio da realização de ajustes estomáticos e fotossintéticos (KUMAR; SINGH, 1998).

Estudos realizados com o intuito de avaliar a influência do estresse hídrico na composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* demonstraram que, sob condições de

estresse, houve redução no rendimento de massa seca total, ocorrendo, porém, um rendimento de óleo essencial duas vezes maior. Sendo ainda observada uma significativa alteração na constituição do óleo, havendo redução no percentual de sesquiterpenos e aumento no percentual de linalol e metilchavicol (SIMON et al., 1992).

Em ensaios realizados em casa de vegetação com diferentes acessos de *Polygonum punctatum*, Lopes et al., (2001) avaliaram a influência de regimes hídricos (ambiente úmido, moderadamente úmido e seco) na produção de óleo essencial. Observou-se maior rendimento do mesmo no ambiente seco do que nos demais ambientes. Este resultado demonstra que o aumento na biossíntese do óleo essencial pode funcionar como resposta adaptativa ao estresse hídrico, relacionando-se alguma resposta fisiológica às variações ambientais.

2.5 Sazonalidade

As simples variações sazonais, refletidas no comportamento das plantas, certamente deslumbraram os primeiros observadores da natureza (CURTI et al., 2003). A capacidade adaptativa dos vegetais é impressionante e pode ser detectada tanto em sua morfologia externa quanto internamente, por meio da síntese e degradação de compostos químicos.

O seu efeito no crescimento, desenvolvimento e teor de princípios ativos em plantas bioativas ou medicinais nada mais é do que a combinação dos fatores ambientais (vento, temperatura, umidade e luz) que ocorre de maneira diversificada ao longo das quatro estações do ano (PINTO; BERTOLUCCI, 2002).

Czepak (1998), com o objetivo de estudar estas relações planta-ambiente, relatou que o desenvolvimento inicial das plantas de *Mentha arvensis* L. é muito acelerado na primavera e verão e proporciona os maiores rendimentos de óleo essencial (em L ha⁻¹). Por outro lado, durante o outono e inverno, houve um crescimento lento e observou-se um declínio acentuado no rendimento de óleo essencial. Em dias longos, o seu crescimento é intenso e em condições de dias frios e curtos, o crescimento vegetal estará comprometido.

Silva et al., (2000) concluíram, em trabalho realizado com *Ocimum basilicum* (manjeriço), que tal espécie apresenta uma produção de óleo essencial muito dependente das condições ambientais observadas no período de cultivo. Andrade et al., (2004) observaram que a produção de óleo essencial de *Siparuna guianensis*, espécie Amazônica conhecida como capitiu, foi aproximadamente constante (0,9-1,3%) durante as estações (avaliações realizadas

em intervalos bimensais de janeiro a dezembro de 2000), porém, os constituintes químicos do óleo variaram acentuadamente.

Ming et al., (1998) avaliaram a produção de óleo essencial e a composição química de *Piper aduncum* L. (a pimenta longa) em Andrianópolis, PR, mensalmente, ao longo de 15 meses e encontraram os maiores teores de setembro a dezembro de 2000 e janeiro a março de 2001. Acrescentaram ainda que, neste período, as temperaturas são mais altas e há maior precipitação em relação aos demais meses do ano.

Bresciani et al., (2004) encontraram diferenças bruscas na quantidade de ácido caurenóico durante as estações do ano em *Wedelia paludosa* (ponta-livre). Todas as partes das plantas foram coletadas e sendo observado que, no outono, houve maior produção do composto (13,71 mg. g⁻¹), tendo as raízes e os galhos sido responsáveis por 84,68% do total. Nas estações seguintes, os valores encontrados do composto foram significativamente inferiores: inverno com 0,9864 mg g⁻¹, primavera com 1,802 mg g⁻¹ e, no verão, obteve-se 0,4287 mg g⁻¹. Este fato induziu os autores a inferir que o ácido caurenóico pode ser um precursor de outros grupos de compostos com função biológica de crescimento, como as giberelinas.

Taveira et al., (2003) estudaram a composição química do óleo essencial extraído de folhas, ramos e cascas de *Aniba canelilla* coletados em locais diferentes e concluíram que há mudanças no teor dos dois constituintes majoritários em função da estação. No período chuvoso, o 1-nitro-2-feniletano alcançou 75% enquanto o metileugenol apresentou teor de 18%. Em contraste, no período seco, apresentaram teor de 39% e 45%, respectivamente.

Assim, observa-se que há uma diferenciação muito grande quanto ao desempenho das espécies nos diferentes ambientes, sendo característica a cada uma a eficiência produtiva de princípios ativos. Ainda, deve-se ressaltar que a época em que se obtém maior produção de óleo essencial, pode não ser a época de maior produção do composto químico de interesse.

2.6 Referências Bibliográficas

- ALBA, R.; CORDONNIER-PRATT M. M.; PRATT L.H. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. **Plant Physiology**. 123:363–370, 2000.
- ANDRADE, E. H. A.; ZOGHBI, M. G. B.; MACHADO, L. B. Variação sazonal de germacrona e antractilona em óleo essencial de *Siparuna guianensis* Aublet. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 6, n. 3, p. 62-64, 2004.

- BRAY, E. A. Molecular responses to water deficit. **Plant Physiology** v. 103, p. 1035- 1040. 1993.
- BRESCIANI, L. F. et al. Seasonal variation of kaurenoic acid, a hypoglycemic diterpene present in *Wedelia paludosa* (*Acmelia brasiliensis*) (Asteraceae). **Zeitschrift Naturforsch** **59c**, p. 229-232, 2004.
- CARNAT A. et al. The aromatic and polyphenolic composition of lemon verbena tea. **Fitoterapia**, v. 70, p. 44-49, 1999.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. M. **Manual de fisiologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 651 p. 2005.
- CHANG-HUNG, C. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Crit. Rev. Plant Sci.** v. 18, p. 609–636. 1999.
- CRAVEIRO, A.; FERNANDES, A. G.; ANDRADE, C. H. S. **Óleos essenciais de plantas do nordeste**. Fortaleza, UFC, p. 210. 1981.
- CURTI, M.; CZEPAK, M. P.; MARTINS, J. M. **Estruturação do jardim didático de plantas aromáticas, medicinais e condimentares, ocorrentes em Marechal Cândido Rondon-PR**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [Anais] Campinas: Instituto Agronômico, p. 62, 2003.
- CZEPAK, M. P. Produção de óleo bruto e mentol cristalizável em oito frequências de colheita de menta (*Mentha arvensis* L.). **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares: avanços na pesquisa agronômica**. Botucatu: UNESP, v. 2, p. 53-79, 1998.
- EVANS, W. C. **Farmacognosia**. 13 ed. México, D. F.: Nueva Editorial Interamericana, p. 453, 1991.
- FIGUEIRA, G. M. et al. Atividade antimicrobiana do óleo essencial de espécies da coleção de plantas medicinais do CPQBA/UNICAMP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [Anais] Campinas: Instituto Agronômico, p.34, 2003.
- FONSECA, J. M. et al. Potential implications of medicinal plant production in controlled environments: The case of feverfew (*Tanacetum parthenium*). **HortScience**, v. 41, p.531-535, 2007.

GIL A.; MORVILLO C.; CONDE C. *Aloysia citriodora* variabilidad intraespecífica y compromiso entre la acumulación de biomasa y el aceite esencial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 2. [Anais] Campinas: Instituto Agronômico. p.21. 2003.

HORNER, J. D. Nonlinear effects of water deficits on foliar tannin concentration. **Biochem. Syst. Ecol.** V. 18, p.211–213. 1990.

JENSEN, A. B. et al. Drought signal transduction in plants. **Plant Growth Regul.** v. 20, p. 105–110. 1996.

KEINANEM, M. Trade-offs in phenolic metabolism of silver birch: Effects of fertilization, defoliation, and genotype. **Ecology.** v. 9, p. 1–27, 1999.

KOBASHI, K.; GEMMA, H.; IWAHORI S. Abscisic acid content and sugar metabolism of peaches grown under water stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 125, p. 425–428, 2000.

KOUHILA M. et al. Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*). intraespecífica y compromise entre la acumulación de biomasa y el aceite. **Journal of Food Engineering.** n. 47, p. 281-287, 2000.

KUMAR, A.; SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought to tolerance in oilseed *Brassica* species. **Annals of Botany**, Oxford, v. 81, p. 413-420, 1998.

LAWLESS, J. **The encyclopedia of essential oils: the complete guide to the use of aromatic oils on aromatherapy, herbalism, health and well-being.** London: Thorsons. Ed. 1, 256p, 1992.

LARCHER, W. **Ecologia vegetal**, São Carlos: RiMa Artes e Textos, p. 33-40, 2000.

LAZCANO-FERRAT, I.; LOVATT, C. J. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. **Crop. Science**, v. 39, p. 467–475, 1999.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 331-335, 1996.

LOPES, R. C; CASALI, V. W. D; BARBOSA, L. C. A.; CECON, P. R. Influência de três regimes hídricos na produção de óleo essencial em sete acessos de *Polygonum punctatum* Ell. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 3 p. 7-10, 2001.

LORENZI, H.; MATOS, F. S. A. **Plantas medicinais do Brasil**: nativas e exóticas. Nova Odessa: Plantarum, 2002. p. 486.

MARQUES, M. O. M. Óleos essenciais: produção e comercialização. In: ENCONTRO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 18. 2004, Lavras. [**Palestras**] Lavras: Sociedade Brasileira de Química, 2004. CD ROM.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas Mediciniais**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2000. 220 p.

MCCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p. 353-360, 1989.

MING, L. C. Adubação orgânica no cultivo de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. – Verbenaceae. In: _____. **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares**: avanços na pesquisa agrônômica. Botucatu: UNESP, 1998. v. 1, p. 165-191.

MONTANARI JUNIOR, I. **Aspectos do cultivo comercial de calêndula**. In: [WORKSHOP SOBRE PLANTAS MEDICINAIS: CULTIVO E BENEFICIAMENTO PÓS-COLHEITA]. 2004, Campinas: CPQBA, UNICAMP, 2004. p. 70-72.

MÖSE, J. R.; LUKAS, G. **Arzneim**, Forschung, v. 7, p. 687-692, 1957.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. **Cultivo e processamento de plantas medicinais**. Lavras: UFLA, 2002. p. 47.

SILVA, F. et al. Teor de óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum*) em diferentes épocas e horários de colheita. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 16., Recife, 2000. [**Resumos**] Recife, 2000. p. 76.

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SIMON, J. E. et al. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. **Journal of Essential Oil Research** v. 4: p. 71-75. 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 819, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Editora ArtMed. p. 719, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TAVEIRA, F. S. N. et al. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 31, p. 69-75, 2003.

THIELE, A. et al. Increased xanthophylls cycle activity and reduce D1 protein inactivation related to photoinhibition in two plant systems acclimated to excess light. **Plant Sci**. 115:237–250, 1996.

UESUGI, P. et al. Influência de dosagens de IBA (ácido indol-butírico) no óleo essencial de estacas caulinares de *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [Anais] Campinas: Instituto Agrônômico. p. 59, 2003

VITTI, A. M.; BRITO, J. O. **Produção de óleo essencial de eucalipto**. IPEF- NOTÍCIAS, v. 23, n. 146, p. 11, 1999.

YIN, C. et al. Morphological and physiological responses of two contrasting *Poplar* species to drought stress and exogenous abscisic acid application. **Plant Science**, v. 167, n. 5, p. 1091-1097, 2004.

3 CAPÍTULO II

ARTIGO 1 - BIOMASSA E TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA E À VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

3.1 Resumo

A variação nos elementos meteorológicos ao longo do ano, configurando as quatro estações, proporciona diferentes condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, alterando o metabolismo e a constituição dos tecidos vegetais. Assim o presente trabalho teve o objetivo de determinar a influência da sazonalidade em parâmetros fenométricos e na produção de óleo essencial em *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton, submetida a diferentes níveis de disponibilidade hídrica cultivada em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em estufa plástica pertencente ao laboratório de agroclimatologia da UFSM *campus* de Frederico Westphalen – RS. As avaliações foram realizadas no dia que marcou a metade de cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera), sendo coletado todo o material vegetativo 20 cm acima do solo. A disponibilidade hídrica foi baseada na evapotranspiração de referência para o ambiente externo sendo aplicados 125, 100, 75 e 50% da ETo em um turno de rega de dois dias. A produção de massa seca e fresca de parte aérea, bem como, a área foliar apresentou maiores valores na estação primavera, sendo o inverno e o verão responsáveis pelos menores valores. Ao passo que o maior teor de óleo essencial foi observado nas estações de menor produção de biomassa, ou seja, verão e inverno. A disponibilidade hídrica que proporcionou maior produção de material vegetativo foi a de 125 % da ETo, no entanto, o maior teor de óleo foi observado nas menores disponibilidades hídricas 75 e 50 %, respectivamente. A produção de óleo foi maior na primavera sendo que ao longo do ano a disponibilidade hídrica não afetou significativamente a mesma.

Palavras chave: Planta medicinal. Sazonalidade. Déficit hídrico. Óleo essencial. Produção.

3.2 Abstract

The variation in weather elements throughout the year, setting the four seasons, provides different conditions for growth and development of plants, altering the metabolism and structure of plant tissue. Thus this study was to determine the influence of seasonality on phenometrics parameters and oil content in triphylla *Aloysia* (L'Herit) Britton, subjected to different levels of water availability cultivated in a greenhouse. The experiment was conducted in greenhouse belonging to the agroclimatology lab of UFSM *campus* of Frederico Westphalen - RS. Evaluations were made on the day that marked the half of each season (summer, autumn, winter and spring), and all plant material collected 20 cm above ground. The water availability was based on reference evapotranspiration to the external environment being applied 125, 100, 75 and 50% of ETo in an irrigation interval of two days. The production of fresh and dry matter of the shoot, as well as leaf area showed higher values in the spring season, winter and summer being responsible for lower values, while the highest content of essential oil was observed at stations with lower production sheets, or biomass. The water availability provide larger production plant material was 125% of ETo, however, the highest oil content was observed at lower water availability 75 and 50%, respectively. Oil production was higher in the spring and throughout the year that water availability did not affect significantly the same.

Key words: Medicinal plant. Seasons. Drought. Essential oil. Yield.

3.3 Introdução

Os avanços tecnológicos alcançados nos últimos dois séculos tornaram possíveis a identificação de centenas de compostos químicos vegetais e a elucidação científica dos efeitos terapêuticos de plantas consagradas pelo conhecimento popular. Assim, a espécie medicinal *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton (Verbenaceae), conhecida popularmente como cidrão, erva-luíza, limonete dentre outros, tem em sua composição altos teores de óleos voláteis que apresentam propriedades aromáticas adstringentes, agindo também como sedativo brando (LORENZI; MATOS, 2002).

Uma das principais limitações no cultivo de plantas medicinais é referente ao teor de constituintes químicos de importância medicinal, ou seja, os ingredientes ativos (i.a), os quais podem variar em função das condições ambientais, tais como a temperatura, radiação solar, umidade, déficit de pressão de vapor na atmosfera (DPV) e disponibilidade hídrica (RODRIGUES-DAS-DORES; CASALI, 2007).

As variações temporais e espaciais no conteúdo total, bem como as proporções relativas de metabólitos secundários em plantas ocorrem em diferentes níveis, tais como sazonais e diárias. Apesar da existência de um controle genético, a expressão pode sofrer modificações resultantes da interação de processos bioquímicos, fisiológicos, ecológicos e evolutivos (LINDROTH et al. 1987; HARTMANN, 1996). Os metabólitos secundários representam uma interface química entre as plantas e o ambiente circundante, portanto, sua síntese é frequentemente afetada por condições ambientais (KUTCHAN, 2001).

A sazonalidade exerce grande impacto no crescimento, desenvolvimento, bem como no teor de princípios ativos das plantas, isso devido à combinação dos fatores ambientais que ocorrem de maneira diversificada ao longo das quatro estações do ano (PINTO; BERTOLUCCI, 2002). Silva (2005) ressalta que a época em que se obtém maior produção de óleo essencial, pode não ser a época de maior produção do composto químico de interesse, bem como de maior acúmulo de fitomassa nas plantas.

Dentre as variações no ambiente, a disponibilidade hídrica é considerada o fator climático de maior impacto sobre a produtividade agrícola, sendo o fator que rege a distribuição das espécies, nas diferentes zonas climáticas do globo (TURNER; JONES, 1980; KRAMER; BOYER, 1995). Em espécies medicinais são poucos os trabalhos referentes à disponibilidade hídrica e sua relação com a produção de óleos essenciais (SILVA, 2002). No entanto, Palevitch (1987) ressalta que quantidades limitadas de água têm um efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Entretanto, a deficiência hídrica moderada, muitas vezes, tem se mostrada positiva no acúmulo de substâncias bioativas em espécies medicinais, aromáticas e condimentares.

Com base no exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de *Aloysia triphylla* submetida a diferentes níveis de disponibilidade hídrica, quanto a componentes fenométricos, teor e produção de óleo essencial, ao longo das quatro estações do ano.

3.4 Material e Métodos

3.4.1 Caracterização da área e ambiente em estudo

O experimento foi desenvolvido na área pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) vinculado à Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen – RS em ambiente protegido, com localização geográfica de 27° 23' 48'' de latitude sul, 53° 25' 45'' de longitude oeste e altitude de 490 m. Nas Tabelas 1 e 2 estão descritas as características físicas e químicas do solo da área experimental, sendo o mesmo classificado como Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa (MALUF, 2000).

Tabela 1 – Caracterização física do solo da área experimental. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Profundidade | Teor % | | | Tipo de solo |
|--------------|--------|-------|--------|--------------|
| | Areia | Silte | Argila | |
| 0-50 | 23,2 | 28,5 | 48,3 | 3* |

*Instrução normativa N°2/2008 (MAPA)

Tabela 2 – Caracterização química do solo da unidade experimental. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| pH | Índice SMP | P | K | M.O. | Al | Ca | Mg | CTC | H + Al | % Sat. da CTC | |
|-----|------------|------|-------|------|-----|------|---------|------|--------|---------------|-----|
| | | mg/L | mg/L | % | | | cmolc/L | | | Bases | Al |
| 5,7 | 6,1 | 5,0 | 128,5 | 3,9 | 0,0 | 12,5 | 4,8 | 20,9 | 3,3 | 84,2 | 0,0 |

O ambiente no qual foi realizado o presente trabalho é caracterizado por apresentar cobertura com filme plástico de 150 micras, com um pé direito de 3,5 m de altura e dimensões de dez metros de largura e vinte de comprimento, sendo o manejo das cortinas realizado diariamente com a finalidade de reduzir a amplitude térmica, a circulação de ventos fortes e a

entrada de água advinda de chuvas. No interior da mesma instalou-se uma estação meteorológica compacta modelo ISIS S1220 da Squiter do Brasil, com a finalidade de caracterizar o ambiente no qual se deu a condução da espécie.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso em um esquema fatorial 4x4 com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por quatro níveis de disponibilidade hídrica (50, 75, 100 e 125 % da ETo para o ambiente externo) e quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera).

O efeito da sazonalidade foi mensurado a partir das coletas de todo material vegetativo das plantas, as quais foram realizadas exatamente nos dias que marcaram a metade de cada estação do ano, sendo no verão dia 05/02/2012, outono dia 06/05/2012, inverno dia 06/08/2012 e primavera dia 06/11/2012.

Os níveis de reposição hídrica aplicados no presente trabalho foram de 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de referência ETo ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) calculada para o ambiente externo e determinada pelo método de Penman-Monteith, descrito no boletim “Estudo FAO Irrigação e Drenagem 56” (ALLEN et al. 1998), sendo o total da estação e a média diária apresentados na Tabela 3. Para tal, as variáveis meteorológicas utilizadas foram temperatura e umidade relativa do ar, radiação global incidente e velocidade do vento, obtidas em escala diária junto à estação meteorológica automática da rede do INMET, localizada a aproximadamente 300 metros do experimento.

As unidades experimentais foram compostas por duas plantas de *Aloysia triphylla*, espaçadas em 0,8m entre plantas e 1m nas entre linhas, totalizando 8 plantas de avaliação. As mudas foram produzidas a partir de estaquia com aplicação de ácido indol-butírico, objetivando-se rápido enraizamento. As mesmas foram transplantadas para a estufa no dia 03 de novembro de 2011 com revolvimento prévio do solo, sem a aplicação de adubação. A irrigação foi realizada com auxílio de regadores e com turno de rega fixado em dois dias.

Tabela 3 – Nível de reposição hídrica total de cada ciclo e diário (mm. dia⁻¹), nas respectivas disponibilidades hídricas ao longo das quatro estações do ano. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Estação | | Disponibilidade hídrica (% ETo) | | | |
|-----------|-----------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 125 | 100 | 75 | 50 |
| Verão | Total | 550.32 | 448.25 | 346.19 | 244.13 |
| | mm. dia ⁻¹ | 7.56 | 6.16 | 4.76 | 3.35 |
| Outono | Total | 458.64 | 366.91 | 275.18 | 183.45 |
| | mm. dia ⁻¹ | 6.30 | 5.04 | 3.78 | 2.52 |
| Inverno | Total | 235.80 | 188.64 | 141.48 | 94.32 |
| | mm. dia ⁻¹ | 3.24 | 2.59 | 1.94 | 1.30 |
| Primavera | Total | 375.30 | 300.24 | 225.18 | 150.12 |
| | mm. dia ⁻¹ | 5.16 | 4.12 | 3.09 | 2.06 |

As variáveis analisadas foram: área foliar (AF - cm². planta⁻¹), índice de área foliar (IAF - ramos (MSR e MFR - g. planta⁻¹) e total (MST e MFT - g. planta⁻¹), medida indireta de clorofila (índice SPAD), altura de planta (AP – cm), Teor de óleo (TEOR - %), e produtividade de óleo (Kg. ha⁻¹).

A área foliar foi determinada com auxílio de um integrador de área foliar marca LICOR modelo LI-3000C e é expresso em cm². planta⁻¹, e o índice de área foliar, como sendo a relação entre área foliar e o espaço ocupado pela planta no solo, expresso em m². m⁻². A massa fresca e seca de folhas e ramos foi determinada através da coleta de todo material vegetativo de 8 plantas por tratamento, sendo realizado sempre a média em cada unidade experimental. Após a aferição da massa fresca, destinou-se parte da massa de folhas e ramos para determinação do teor de umidade do material em estufa de circulação de ar forçada a 60° por 72 horas, após procedeu-se a correção dos valores para massa seca.

A medida indireta da clorofila foi realizada com o emprego de um medidor portátil de clorofila (SPAD-502), equipamento que permite medições instantâneas do teor de clorofila na folha por meio do índice SPAD (MINOLTA, 1989). A altura de planta foi determinada com auxílio de uma régua graduada, sendo este expresso em cm.

3.4.2 Determinação do teor de óleo

Para a determinação do teor de óleo essencial, procedeu-se a extração do óleo pelo método de hidrodestilação em aparelho modificado de Clevenger, por Wasick. O material vegetal foi colocado em balão volumétrico de 5.000 mL e acrescentado um volume de 2500 mL de água destilada. A quantidade de material vegetativo utilizada variou em razão da produção de cada estação do ano, assim para o verão utilizou-se 100, 150 no outono, 150 no inverno e 200 gramas de massa fresca de folhas na primavera.

O material coletado no início do dia (8 horas) foi previamente picado com tesouras, e imediatamente, introduzido no balão, adicionando-se a água destilada e levando o mesmo as mantas térmicas. Após a detecção de início de fervura, cronometrou-se o tempo de três horas. Findo o período de extração, o hidrolato, obtido de cada hidrodestilação foi, então, armazenado em recipientes de vidro de 2 ml, devidamente lacrados e cobertos por papel laminado, para evitar a fotodegradação de moléculas. Ao término deste procedimento as amostras foram estocadas em um ultra freezer a uma temperatura próxima a -20°C .

O teor de óleo foi obtido pela seguinte expressão:

$$T\% = \text{Massa do óleo (g)} / \text{Massa fresca de folhas} \times 100$$

A produtividade foi obtida extrapolando-se a produção de óleo por planta em $0,8\text{ m}^2$ para hectares (12.500 plantas), pela expressão:

$$\text{PROD (Kg. ha}^{-1}\text{)} = \text{Massa de óleo. planta}^{-1}\text{ em Kg} \times 12.500$$

3.4.3 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise da variância através do *Software “Statistical Analysis System”* (SAS LEARNING EDITION, 2003). Aos parâmetros em que se rejeitou a hipótese de igualdade a 5% de probabilidade de erro procederam-se a análise de regressão para o fator disponibilidade hídrica e teste de Tukey para o fator sazonalidade.

3.5 Resultados e Discussão

Nas figuras 1, 2 e 3 são demonstradas as variáveis meteorológicas que caracterizam o interior do ambiente protegido, sendo temperatura do ar (Figura 1), umidade relativa do ar (Figura 2) e radiação solar global incidente (Figura 3) no interior da estufa. Assim, são observados valores de temperatura média do ar (T° ar) na ordem de 21,9; 21,6; 16,9 e 19,6 ° C para as coletas de verão, outono, inverno e primavera respectivamente, sendo o verão responsável pelo maior valor e o inverno pelo menor valor de T° ar.

A Umidade relativa do ar (UR %) apresenta valores na ordem de 68,2; 70,5; 79,7 e 71,9 % para as estações verão, outono, inverno e primavera, respectivamente, sendo o inverno responsável pelo maior valor e o verão pelo menor valor de UR. O fluxo médio de radiação solar global incidente (R_g) em escala diária no interior da estufa foi 18,46; 14,27; 7,77 e 11,88 MJ. m⁻². dia⁻¹ nas respectivas estações do ano verão, outono, inverno e primavera, sendo o verão responsável pelo maior valor e o inverno pelo menor valor de R_g .

A partir do resumo da análise de variância (Tabela 4) é possível identificar uma alta dependência das variáveis analisadas aos fatores estudados. Assim para o fator sazonalidade todas variáveis apresentaram diferenças significativas entre as estações do ano, ao passo que para o fator disponibilidade hídrica apenas a MFR, MSR e a PROD não foram significativamente influenciadas. Ainda, é observada uma interação entre os fatores estudados, sendo a mesma significativa para as variáveis AF, IAF e TEOR.

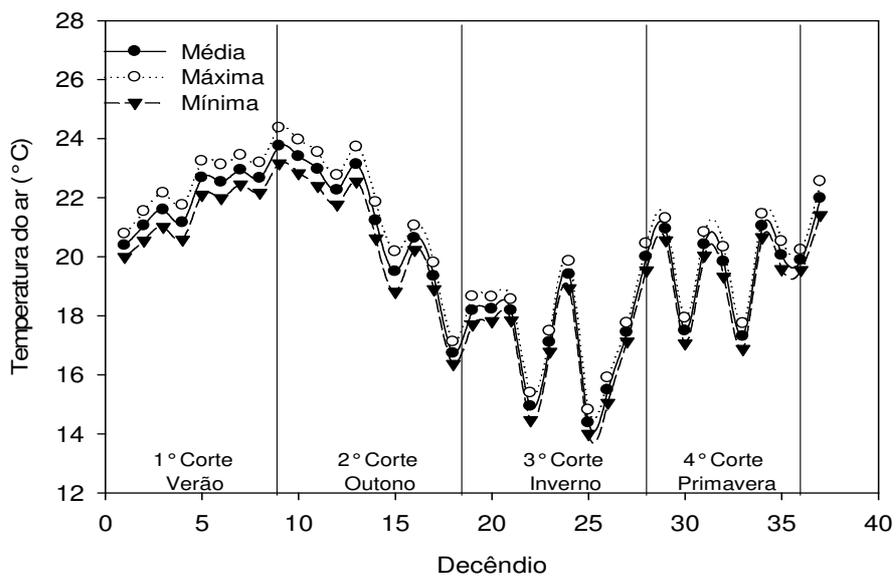


Figura 1 – Temperatura média, máxima e mínima ($^{\circ}$ C) no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012.

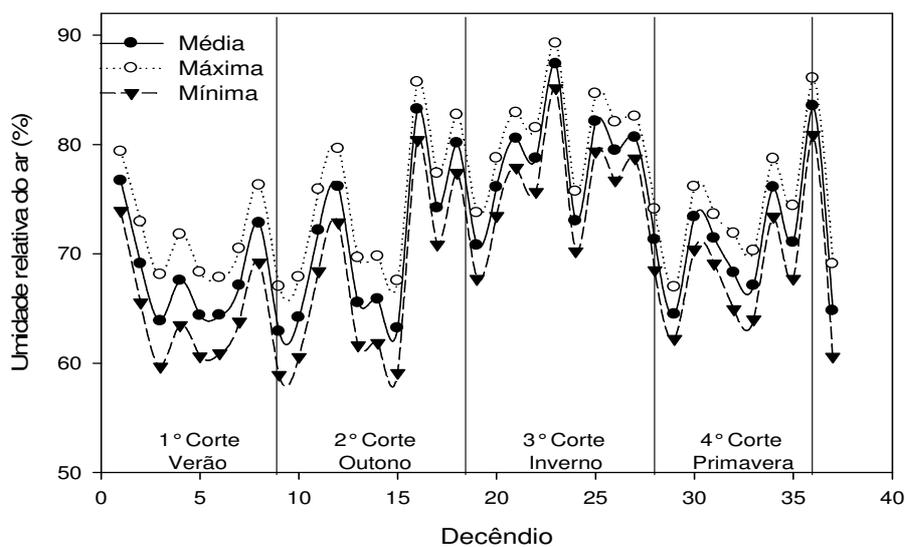


Figura 2 – Umidade relativa do ar média mínima e máxima no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012.

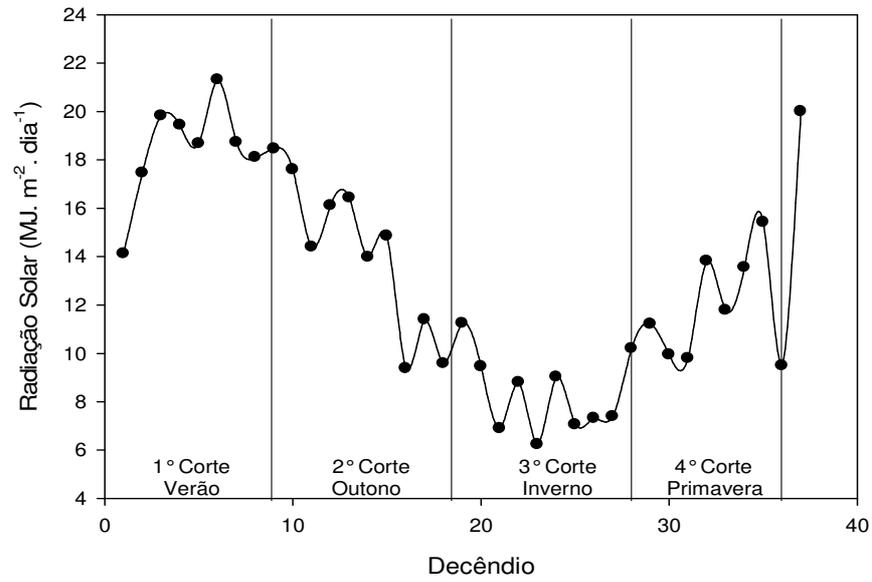


Figura 3 – Radiação solar global incidente no interior da estufa plástica. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para os parâmetros, área foliar (AF - $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$), índice de área foliar (IAF - $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) e total (MST e MFT - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), medida indireta de clorofila (índice SPAD), altura de planta (AP - cm), teor de óleo (TEOR - $\%$), e produtividade de óleo ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | Continua... |
|--|-----------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| | | AF | IAF | MFF | MSF | MFR | |
| Estação (E) | 3 | 363529651.00* | 5.6813* | 34135.32* | 2904.53* | 10896.58* | |
| Disponibilidade Hídrica (DH) | 3 | 13154012.00* | 0.2054* | 3137.70* | 266.97* | 1636.67 ^{ns} | |
| E*DH | 9 | 7184766.00* | 0.1122* | 1460.63 ^{ns} | 124.28 ^{ns} | 617.25 ^{ns} | |
| Repetições | 3 | 278223 | 0.004 | 417.1763 | 35.498 | 1521.016 | |
| CV | - | 25.94 | 25.95 | 28.85 | 28.85 | 39.99 | |
| R ² | - | 0.91 | 0.91 | 0.79 | 0.79 | 0.61 | |
| Efeito Simples (Estação x Disponibilidade Hídrica) | | | | | | | |
| Estação | verão | 5116907.00 ^{ns} | 0.080 ^{ns} | - | - | - | |
| | Outono | 4925028.00 ^{ns} | 0.077 ^{ns} | - | - | - | |
| | Inverno | 355597.00 ^{ns} | 0.005 ^{ns} | - | - | - | |
| | Primavera | 24310778.00* | 0.379* | - | - | - | |
| DH | 125 | 56516692.00* | 0.883* | - | - | - | |
| | 100 | 65602068.00* | 1.025* | - | - | - | |
| | 75 | 151125328.00* | 2.361* | - | - | - | |
| | 50 | 111839860.00* | 1.748* | - | - | - | |
| Continuação... | | Quadrado Médio | | | | | |
| MSR | MFT | MST | SPAD | AP | TEOR | PROD | |
| 1072.97* | 65989.02* | 5895.85* | 116.27* | 12689.54* | 0.214* | 20.74* | |
| 161.16 ^{ns} | 8383.25* | 758.49* | 328.32* | 1700.98* | 0.016* | 2.53 ^{ns} | |
| 60.78 ^{ns} | 3132.85 ^{ns} | 281.63 ^{ns} | 16.25 ^{ns} | 217.43 ^{ns} | 0.012* | 2.10 ^{ns} | |
| 149.781 | 3152.65 | 296.438 | 5.733 | 25.306 | 0.002 | 1.541 | |
| 39.99 | 30.38 | 30.56 | 10.71 | 16.82 | 16.68 | 27.75 | |
| 0.61 | 0.71 | 0.71 | 0.68 | 0.8 | 0.76 | 0.55 | |
| - | - | - | - | - | 0.009 ^{ns} | - | |
| - | - | - | - | - | 0.027* | - | |
| - | - | - | - | - | 0.013 ^{ns} | - | |
| - | - | - | - | - | 0.002 ^{ns} | - | |
| - | - | - | - | - | 0.033* | - | |
| - | - | - | - | - | 0.065* | - | |
| - | - | - | - | - | 0.055* | - | |
| - | - | - | - | - | 0.095* | - | |

*Significativo e ns não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

O efeito da sazonalidade sobre as variáveis estudadas é apresentado na Tabela 5 sendo a estação primavera responsável pelos maiores valores de AF, IAF, MFF, MSF, MFT, MST, AP e PROD, superando a média geral das estações em 117,17; 117,17; 63,91; 63,93; 45,21; 44,39; 49,77 e 29,84%, respectivamente. As estações de inverno e verão apresentaram os

menores valores, destacando-se o inverno com percentuais de 52,11; 52,11; 47,81; 47,83; 57,91; 57,89; 51,94; 52,11e 29,96% abaixo da média para as variáveis AF, IAF, MFF, MSF, MFR, MSR, MFT, MST, e PROD respectivamente.

Tabela 5 – Efeito da sazonalidade na área foliar (AF - $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$), índice de área foliar (IAF - $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF – $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) e total (MST e MFT - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), medida indireta de clorofila (índice SPAD), altura de planta (AP – cm), teor de óleo (TEOR - %), e produtividade de óleo ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Estação | AF* | IAF | MFF | MSF | MFR | MSR | MFT | MST | SPA D | AP | TEO R | PRO D |
|---------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------|------------|-------------------|--------------------|------------|------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Verão | 3563,50 ^{bc} | 0,45 ^b c | 69,82 ^c | 20,37 c | 86,40 a | 27,11 a | 156,23 b | 47,48 b | 36,09 b | 59,87 ^c | 0,55 ^a | 4,70 ^b |
| Outono | 4582,90 ^b | 0,57 ^b | 104,09 b | 30,36 b | 70,55 a | 22,14 a | 174,64 b | 52,50 b | 40,87 a | 77,69 ^b | 0,38 ^b | 4,62 ^b |
| Inverno | 2891,20 ^c | 0,36 ^c | 49,361 c | 14,39 c | 27,56 b | 8,65 ^b | 76,92 ^c | 23,05 c | 36,75 b | 67,53 ^{bc} | 0,53 ^a | 3,26 ^c |
| Primaver a | 13110,40 a | 1,64 ^a | 155,01 a | 45,22 a | 77,39 a | 24,28 a | 232,41 a | 69,50 a | 34,55 b | 122,76 a | 0,32 ^b | 6,05 ^a |

*letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Tanto a área foliar como o índice de área foliar foram superiores na primavera associado a disponibilidade hídrica de 125 % da ETo (Tabela 6), ao passo que no inverno observou-se o menor valor responsável pelos menores valores na referida DH, não diferenciando do verão e do outono nas disponibilidades de 100 e 75 %. Ao passo que na disponibilidade de 50 %, a estação verão deteve a menor AF e IAF seguido do inverno. Desta forma, é possível observar uma forte influência da disponibilidade hídrica na estação de maior demanda de água, ou seja, o verão, onde o mesmo com uma lâmina diária de 3.35 mm apresenta uma redução de quase 50% na produção de biomassa quando comparada a lâmina de irrigação de 7.56 $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ (Tabela 3).

A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo McCree; Fernández (1989); Taiz; Zeiger (1991) consiste no decréscimo da produção da área foliar e no IAF, conseqüentemente promovendo a aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, economizando a mesma para períodos posteriores, garantindo a perpetuação da espécie.

Em espécies medicinais um dos principais componentes avaliados é o Teor de óleo essencial presente no tecido. Dessa forma, no presente trabalho observa-se que nas disponibilidades de 125, 100 e 75 % da ETo as coletas realizadas nas estações de inverno e verão apresentaram maior teor de óleo essencial, sendo a primavera responsável pelos menores valores observados. De forma semelhante ao observado no presente trabalho Botrel et al., 2010, observaram maior teor de óleo essencial em *Hyptis marrubioides* cultivada na estação do verão.

Tabela 6 – Efeito da Sazonalidade em diferentes níveis de disponibilidade hídrica nas variáveis (AF - $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$), índice de área foliar (IAF - $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) e Teor de óleo (TEOR - %), em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Época | Disponibilidade Hídrica (% ETo) | | | |
|-----------|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 125 | 100 | 75 | 50 |
| | Área Foliar – AF | | | |
| Inverno | 2574,236 ^c | 2820,247 ^b | 2877,750 ^b | 3292,469 ^{bc} |
| Outono | 5682,064 ^b | 3756,121 ^b | 3507,335 ^b | 5386,147 ^b |
| Primavera | 14640,528 ^a | 15774,375 ^a | 11008,518 ^a | 11018,244 ^a |
| Verão | 4954,665 ^b | 3992,037 ^b | 2475,810 ^b | 2831,635 ^c |
| | Índice de Área foliar – IAF | | | |
| Inverno | 0,322 ^c | 0,352 ^b | 0,359 ^b | 0,411 ^{bc} |
| Outono | 0,710 ^b | 0,4695 ^b | 0,438 ^b | 0,673 ^b |
| Primavera | 1,830 ^a | 1,972 ^a | 1,376 ^a | 1,377 ^a |
| Verão | 0,619 ^b | 0,499 ^b | 0,309 ^b | 0,354 ^c |
| | Teor de óleo – TEOR | | | |
| Inverno | 0,597 ^a | 0,542 ^a | 0,542 ^a | 0,461 ^{ab} |
| Outono | 0,295 ^b | 0,370 ^b | 0,370 ^b | 0,356 ^{bc} |
| Primavera | 0,291 ^b | 0,312 ^b | 0,311 ^c | 0,347 ^c |
| Verão | 0,506 ^a | 0,539 ^a | 0,539 ^a | 0,539 ^a |

*letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Os parâmetros fenométricos demonstraram ser influenciados pela disponibilidade hídrica (Figura 4), sendo os maiores valores observados nas disponibilidades hídricas de 100 e 125% da ETo, concordando com os resultados semelhantes aos obtidos por Silva et al. (2002) em *Melaleuca alternifolia*. Ao compararmos o desempenho da espécie frente à disponibilidade hídrica (Figura 4), observa-se que, a redução de 50% da disponibilidade de água, ou seja, de 125 para 75 e de 100 para 50 % da ETo promoveram reduções nas respectivas ordens de 33,45 e 15,60 para AF, 34,78 e 10,51 para a MFF, 35,08 e 2,96 para MFT, 27,92 e 10,05 para o índice SPAD, 26,11 e 15,28 % para a altura de planta.

Assim, é possível inferir que a espécie apresenta respostas positivas ao aumento da disponibilidade hídrica para as variáveis área foliar, índice de área foliar, massa seca e fresca de folhas, massa seca e fresca de ramos, massa fresca e seca total, medida indireta de clorofila (SPAD) e altura de planta. Observam-se no presente trabalho respostas positivas quanto ao aumento da disponibilidade hídrica (Figura 4), assim como observadas em trabalhos realizados por Silva et al. (2002) em *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) e Carvalho et al. (2003) em artemísia, onde a deficiência hídrica diminuiu o crescimento, a produção de biomassa fresca e seca das plantas. Marcum e Hanson (2006) observaram quedas significativas na produção de óleo essencial de menta na Califórnia, quando as plantas foram submetidas a lâminas de irrigação inferiores a evapotranspiração.

O teor de óleo essencial (Figura 5) apresenta uma relação inversa com a produção de MFF (Tabela 5), ou seja, quanto maior a produção de folhas, menor o teor nas mesmas. Tal fato pode ser justificado pela ideia proposta por Santos e Carlesso, (1998), já que os mesmos consideram que o déficit hídrico ocasiona mudanças na partição dos carboidratos no interior da planta, condicionando as plantas a desenvolverem mecanismos de adaptação e resistência.

De acordo com Larcher (2004), sob a influência do estresse, a síntese de proteínas é inibida e a degradação de proteínas é acelerada, o que leva a um acúmulo de aminoácidos e aminas livres, levando a um distúrbio no metabolismo das proteínas e conseqüente mudança nas proporções dos aminoácidos, elevando a concentração de metabólitos secundários. É possível concluir, que para as condições ocorridas no presente trabalho, a disponibilidade hídrica não afetou a produção de óleo por unidade de área, devido à compensação ocorrida pelo maior teor de óleo na biomassa, desta forma, minimizando possíveis efeitos negativos de um cenário com menor disponibilidade hídrica.

Os resultados aqui observados corroboram com os resultados obtidos por Pitarevic, (1984) que ao aplicar um longo período de seca em populações naturais de sálvia, observou uma produção elevada de óleo essencial. Também Gouinguéné e Turlings (2002) ao testar diferentes teores de umidade do solo e a umidade do ar na emissão de produtos voláteis em plantas jovens do milho e observaram uma liberação maior quando colocadas em solo seco.

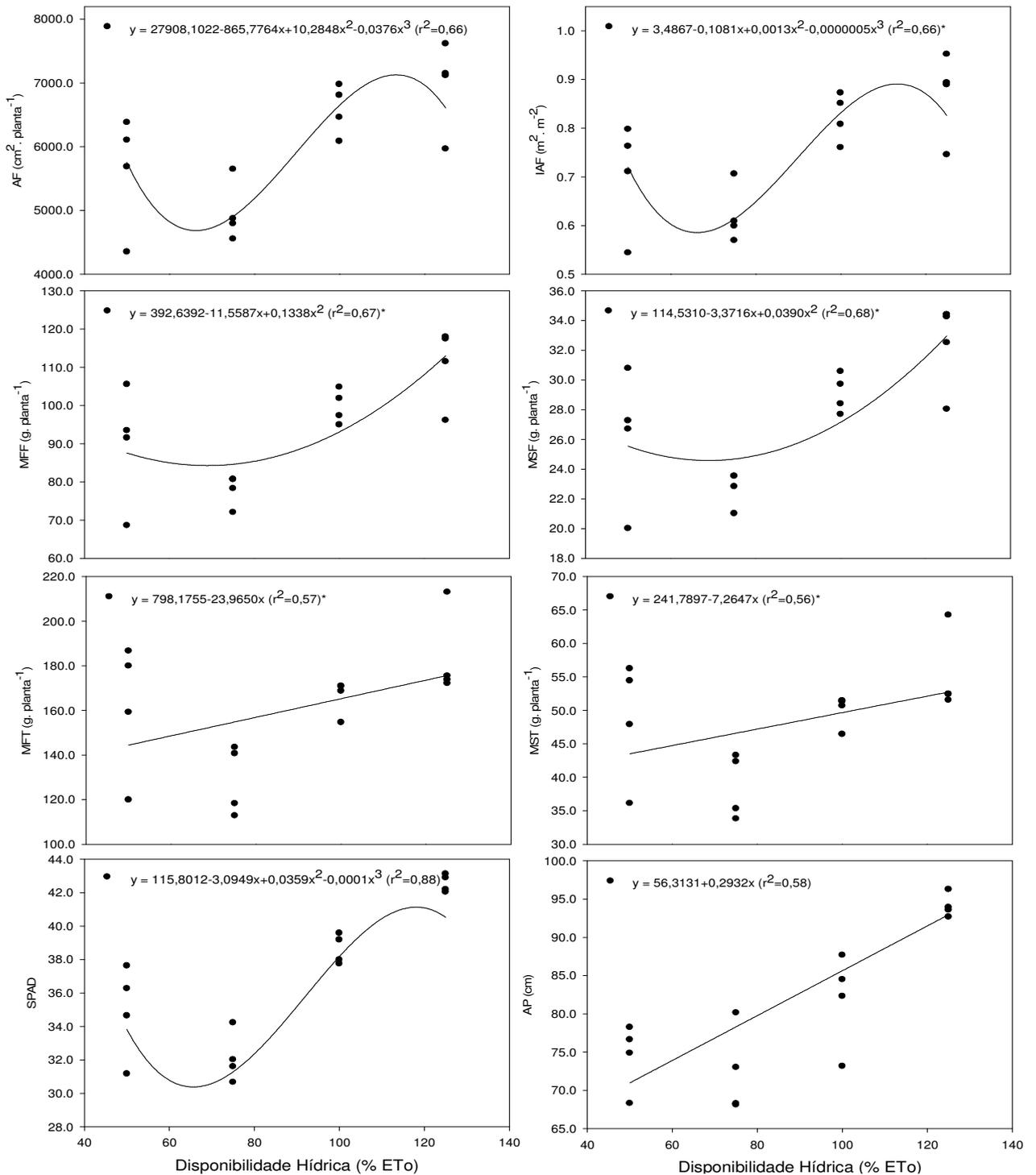


Figura 4— Efeito da disponibilidade hídrica nos parâmetros morfológicos, área foliar (AF - $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$), índice de área foliar (IAF - $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), massa seca e fresca de folhas (MSF e MFF - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), massa seca e fresca de ramos (MSR e MFR - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) e total (MST e MFT - $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$), medida indireta de clorofila (índice SPAD) e altura de planta (AP - cm), em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Segundo Velloso (2009) e Bray (1993) a resposta aos estresses ambientais se da em função da produção de ácido abscísico o qual desencadeia os processos de redução da área foliar, fotossíntese, transpiração etc... Sendo o óleo essencial um monoterpene, contendo apenas uma cadeia de 5 carbonos a menos que o ABA é possível concluir que a condução de tal espécie em condições de disponibilidade hídrica reduzida proporciona aumento do teor de óleo essencial no tecido vegetal, sendo a resposta positiva ao stress.

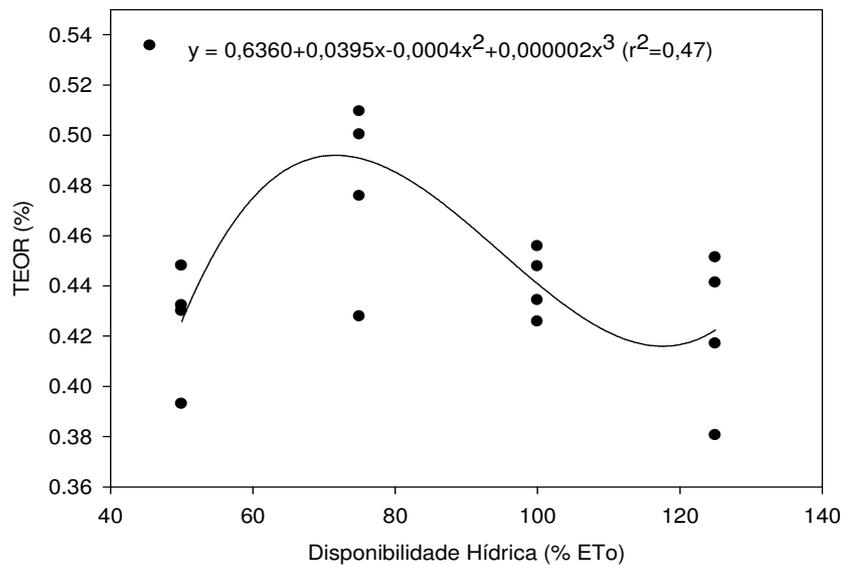


Figura 5 – Efeito da disponibilidade hídrica sobre o teor de óleo essencial em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

3.6 Conclusões

A sazonalidade causa grande efeito sobre os parâmetros fenométricos, sendo a primavera a estação de maior crescimento, produção de biomassa e óleo essencial em *Aloysia triphylla*.

As estações de verão e inverno apresentam biomassa com maior teor de óleo essencial. Ao passo que a disponibilidade hídrica que proporcionou maior teor de óleo essencial foi a de 75 % da evapotranspiração de referência para o ambiente externo.

Reduções na disponibilidade hídrica acarretam menor produção de biomassa, área foliar, medida indireta da clorofila (SPAD) e altura de planta.

3.7 Referências Bibliográficas

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1. ed. Rome: FAO, 300p, 1998.

BOTREL, P. P. et al. Teor e composição química do óleo essencial de *Hyptis marrubioides* EpL. Lamiaceae em função da sazonalidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 533-538, 2010.

CARVALHO, L. M. et al. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

GOINGUENÉ, S. P.; TURLINGS, T. C. J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. **Plant Physiology**. v. 129, p. 1296-1307, 2002.

HARTMANN, T. **Global harmonization of herbal health claims**. *Ent Exp Appl* 80: 177-179. 1996.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995.

KUTCHAN, T. M. Herbal mixtures in the traditional medicine of Eastern Cuba. **Plant Physiol** 125: 58-62. 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LINDROTH, R. L.; HSIA, M. T. S.; SCRIBER, J. M. Tropical Plants. **Biochem Syst Ecol**. v. 15, p. 681-682, 1987.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 512p, 2002.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARCUM, D. B.; HANSON, B. R. Effect of irrigation and harvest timing on peppermint oil yield in California. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, n. 1- 2, p. 118-128, 2006.

MCCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 353-360, 1989.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments Divisions, p. 22, 1989.

PALEVITCH, D. **Recent advances in the cultivation of medicinal plants**. Acta Horticulturae, v. 208, p. 29- 35, 1987.

PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. **Cultivo e processamento de plantas medicinais**. Lavras: UFLA, p. 47, 2002.

PITAREVIC, I. Seasonal variation of essential oil yield and composition of dalmatian sage, *Salvia officinalis*. **J. Nat. Prod.** v. 47, n. 3, p. 409-412, 1984.

RODRIGUES-DAS-DORES, R .G.; CASALI, V. W. D. **Plantas Medicinais e Aromáticas: Controle de Qualidade de Fitoterápicos**. 1. ed. Ponte Nova: D&M gráfica, 160 p, 2007.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e Fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.1998.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 200p, 2003.

SILVA, R. **Crescimento e teor de óleo essencial de *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton (Verbenaceae), em função da adubação orgânica, sazonalidade, horário de colheita e processamento pós-colheita**. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TURNER, N. C.; JONES, M. M. **Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation.** In: **Adaptation of plants to water and high temperature stress.** TURNER, N. C. e KRAMER, P. J. (Ed.) Wiley Publ., New York. p. 87-103, 1980.

VELLOSO, M. A. L, ABREU, I. N; MAZZAFERA, P. Indução de metabólitos secundários em plântulas de *Hypericum brasiliense* Choisy crescendo in vitro. **Acta Amazônica**, v. 39, n 2, p. 267–272, 2009.

4 CAPÍTULO III

ARTIGO 2 – TROCAS GASOSAS E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM *Aloysia triphylla* (L'HÉRIT) BRITTON EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.1 Resumo

A atividade fisiológica das plantas pode variar intensamente em função das condições climáticas, principalmente quanto à disponibilidade hídrica envolvida nos processos de trocas gasosas e acúmulo de carbono no tecido. Com o propósito de melhor compreender as respostas fisiológicas das plantas às adversidades do ambiente, o presente trabalho teve o objetivo de determinar o comportamento fisiológico da planta medicinal *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton, em resposta a diferentes disponibilidades hídricas, bem como à influência da face da folha nos processos de troca gasosa e manutenção da energia térmica (temperatura da folha) em distintas estações do ano (verão e inverno). O trabalho foi desenvolvido junto ao laboratório de agroclimatologia da UFSM *campus* de Frederico Westphalen – RS. As variáveis analisadas foram a resistência à difusão de vapor pelos estômatos ($s.cm^{-1}$), a transpiração ($\mu g.cm^{-2}.s^{-1}$) e a temperatura da folha ($T_{fol} \text{ } ^\circ C$), em ambas as faces da folha, no período compreendido entre 10 às 11h, 13 às 14h e 16 às 17 horas, aos 45 dias após o início da estação. Simultaneamente, determinou-se a radiação fotossinteticamente ativa ($\mu mol.s^{-1}.m^{-2}$). Os resultados revelam interações significativas entre época, disponibilidade hídrica e face da folha, sendo observado um aumento da resistência à difusão de vapor e da temperatura foliar, e conseqüente redução da transpiração em decorrência de uma menor disponibilidade hídrica. A estação do ano verão foi a responsável pelos maiores valores de ambos os elementos estudados ao passo que a face abaxial da folha deteve os maiores valores de transpiração, em ambas as estações.

Palavras-chave: Transpiração. Resistência estomática. Temperatura da folha. Planta medicinal. Face da folha.

4.2 Abstract

The physiological activity of plants can vary strongly depending on climatic conditions, especially regarding the availability of water involved in the process of gas exchange and carbon accumulation in tissue. In order to better understand the physiological responses of plants to environmental adversity, the present study aimed to determine the physiological behavior of the medicinal plant *Aloysia triphylla* (L'Herit) Britton, in response to different water availability, as well as the influence of face of the leaf gas exchange processes and maintenance of thermal energy (leaf temperature) in different seasons (summer and winter). The work was developed by the agroclimatology laboratory of UFSM campus from Frederico Westphalen - RS. The variables studied were the stomatal resistance to vapor diffusion (s.cm^{-1}), transpiration ($\mu\text{g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) and the temperature of the leaf (leaf temperature ° C) on both sides of the leaf, in the period between 10 to 11 am, 13 to 14h and 16 to 17 hours, 45 days after the start of the season. Simultaneously, we determined the photosynthetically active radiation ($\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). The results reveal significant interactions between time, water availability and leaf face, observing an increase in vapor diffusion resistance and leaf temperature, and consequent reduction in transpiration due to a lower water availability. The summer season was responsible for the higher values of both elements studied while the abaxial leaf face had the highest rates of transpiration in both seasons.

Keywords: Transpiration. Stomatal resistance. Leaf temperature. Medicinal plant. Face of leaf.

4.3 Introdução

A espécie medicinal *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton (Verbenaceae), conhecida popularmente como cidrão, cidró, erva Luiza entre outros, possui a sinonímia científica *Lippia citriodora* e seu centro de origem é a América do Sul. Em sua composição estão presentes altos teores de óleos voláteis que apresentam propriedades aromáticas adstringentes e que agem também como sedativos brandos. Lorenzi; Matos (2002) ressaltam sua importância na

utilização contra resfriados febris, antiespasmódico, carminativo, estimulante, tônico, calmante e eupéptico, além de tratamento para melancolia, histeria e afecções do coração.

Uma das principais limitações no cultivo de plantas medicinais é relacionada ao teor de constituintes químicos de importância medicinal, ou seja, os ingredientes ativos (i.a), os quais podem variar em razão das condições ambientais, tais como temperatura, radiação solar, umidade, déficit de pressão de vapor na atmosfera (DPV) e disponibilidade hídrica (RODRIGUES-DAS-DORES; CASALI, 2007).

A adaptação de uma espécie a determinado ambiente ou condição ambiental passa dentre outros fatores pelo controle do balanço de energia, que é regido pela abertura e fechamento estomático. Este processo está relacionado tanto à intensidade de luz quanto ao teor de água contido nas folhas das plantas. Portanto, a frequência do funcionamento dos estômatos e do aparato fotossintetizante influencia diretamente a produção e a constituição da biomassa dos vegetais (COSTA; MARENCO, 2007).

Neste contexto, a atividade fisiológica das plantas pode variar intensamente em resposta às condições climáticas adversas, como é o caso dos estresses hídricos e térmicos. O estresse hídrico, caracterizado como a falta ou excesso de água, pode causar danos a um órgão específico ou a planta inteira. Durante um período longo de déficit hídrico, as plantas fecham os estômatos reduzindo os níveis de trocas gasosas, aumentando a energia térmica e, conseqüentemente, reduzindo o acúmulo de fitomassa e a taxa de expansão foliar, acelerando, assim, o processo de senescência das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A taxa de transpiração das plantas reflete a sua necessidade de água. Assim, valores de transpiração inferiores à necessidade fisiológica da planta ocasionam estresse hídrico, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (CASAROLI et al., 2008), esta redução na produção de biomassa esta associada dentre outras a inibição da fotossíntese pelo aumento da temperatura foliar (BERGAMASHI et al., 1988).

Nas plantas, as funções metabólicas operam em temperaturas ideais. Assim a temperatura ótima para o processamento de CO₂ pelas enzimas fotossintéticas está em torno de 30 °C. Se a temperatura subir acima de 34 °C inicia-se a desnaturação das enzimas, inibindo o desempenho ideal da folha (MARUR et al., 2000).

Em espécies que, eventualmente, venham despertar interesses econômicos na exploração de compostos com propriedades terapêuticas, como é o caso da *Aloysia triphylla*, carecem de pesquisas científicas acerca das adaptações fisiológicas ao ambiente, dificultando o aperfeiçoamento das práticas de cultivo e a validação farmacognóstica dos produtos medicinais. Assim o presente trabalho teve como objetivo determinar a taxa de troca

gasosa, bem como o desempenho de parâmetros fisiológicos que a regem em *Aloysia triphylla* submetida a diferentes níveis de reposição hídrica em duas estações do ano verão e inverno, bem como a contribuição de cada face da folha nos referidos processos.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Caracterização da área em estudo

O experimento foi desenvolvido na área pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) vinculado à Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen – RS em ambiente protegido, com localização geográfica 27°23'48''S, 53°25'45''O e altitude de 490 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (EMBRAPA, 2006), com teores de areia, silte e argila na ordem de 23,2; 28,5 e 48,3 respectivamente. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa (MALUF, 2000).

O ambiente no qual foi realizado o presente trabalho é caracterizado por apresentar cobertura plástica de 150 micras de espessura, com um pé direito de 3,5 m de altura e dimensões de dez metros de largura e vinte de comprimento, sendo o manejo das cortinas realizado diariamente com a finalidade de reduzir a amplitude térmica, a circulação de ventos fortes e a entrada de água advinda de chuvas.

4.4.2 Delineamento experimental e fatores estudados

O delineamento utilizado foi o de blocos completos ao acaso em um esquema trifatorial 2x4x2, sendo duas estações do ano (verão e inverno), quatro disponibilidades hídricas e duas faces da folha (abaxial e adaxial) com quatro repetições. Para mensurar o efeito da estação do ano foram realizadas duas avaliações, uma no verão e outra no inverno, no dia que marcou a metade de cada estação 05/02/2012 e 06/08/2012, respectivamente.

Os quatro níveis de disponibilidades hídricas foram 50, 75, 100, 125 % da evapotranspiração de referência E_{To} (mm.dia^{-1}) para o ambiente externo, as quais foram determinadas pelo método de Penman-Monteith, descrito no boletim “Estudo FAO Irrigação e Drenagem 56” (ALLEN et al., 1998). As variáveis meteorológicas utilizadas foram temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação global e velocidade do vento, obtidas em escala diária junto à estação meteorológica automática do INMET, localizada a aproximadamente 300 metros do experimento.

As unidades experimentais foram compostas por duas plantas de *Aloysia triphylla*, com espaçamento de 0,8 m entre plantas e 1 m nas entre linhas, circundadas por duas linhas de bordadura. As mudas foram produzidas a partir de estaquia com aplicação de ácido indolbutírico, objetivando-se rápido enraizamento. As mudas foram transplantadas para a estufa no dia 03 de novembro de 2011 com cerca de 25 cm de altura, sendo realizado o revolvimento prévio do solo, sem a aplicação de adubação. A reposição de água foi realizada a partir de irrigação com auxílio de regadores e com turno de rega fixado em dois dias.

4.4.3 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram a resistência difusiva s. cm^{-1} (R_s), transpiração $\mu\text{g. cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (E) e temperatura da folha $^{\circ}\text{C}$ (T_{fol}). As avaliações relativas às trocas gasosas do vapor d'água foram procedidas no período das 10 às 11h, 13 às 14h e 16 às 17 horas, aos 92 e 288 dias após transplante (DAT), utilizando-se duas folhas desenvolvidas e isoladas, situadas no terço superior da haste principal, seguindo-se a metodologia descrita por Martinez; Moreno (1992) e Nogueira (1997).

As análises foram feitas com auxílio de um porômetro de equilíbrio dinâmico modelo LI-COR 1600, sendo as leituras tomadas em ambas as faces da folha, abaxial e adaxial, mensurando assim a contribuição de cada face da folha nas trocas gasosas da planta. Paralelamente, monitorou-se a radiação fotossinteticamente ativa incidente PAR ($\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$), através de um sensor quântico acoplado ao aparelho.

4.4.4 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise da variância através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2003). Os parâmetros que demonstraram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro foram comparados através de análise de regressão para lâminas de irrigação e teste de Tukey para as demais variáveis.

4.5 Resultados e Discussão

Com base na análise de variância (Tabela 1) é possível identificar efeitos significativos em todas as variáveis quanto aos fatores de estação do ano e disponibilidade hídrica, ao passo que o fator face da folha apresenta significância apenas para as variáveis transpiração (E) e resistência de difusão de vapor pelos estômatos (Rs), sendo observada também uma interação tripla entre os respectivos fatores (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para variáveis fisiológicas, temperatura da folha (T_{fol} °C), Transpiração E ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), resistência a difusão de vapor Rs ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) e radiação fotossinteticamente ativa PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), em planta medicinal (*Aloysia triphylla*). Frederico Westphalen, RS, 2012.

| Fonte de Variação | GL | Tfol | E | RS | RFA |
|------------------------------|---------|------------|-----------|----------|--------------|
| Estação (E) | 1 | 1529,6898* | 255,2006* | 6,9169* | 620404,3373* |
| Disponibilidade hídrica (DH) | 3 | 33,1341* | 50,0331* | 13,0905* | 209815,0730* |
| Face (F) | 1 | 2,6123 | 34,3396* | 5,2326* | 12876,5756 |
| E x DH | 3 | 5,6096* | 5,8608* | 1,2525* | 50513,7014 |
| E x F | 1 | 0,0062 | 150,6756* | 37,4238* | 100048,853 |
| DHx F | 3 | 0,2377 | 5,8194* | 0,9267* | 3840,4928 |
| E x DH x F | 3 | 0,5762 | 5,8737* | 1,0883* | 4357,692 |
| Repetições | 3 | 1,7129 | 0,1294 | 0,1628 | 79304,0624 |
| CV | - | 2,5962 | 10,1631 | 13,8516 | 35,4727 |
| R ² | - | 0,98 | 0,94 | 0,89 | 0,54 |
| ----- | | | | | |
| Efeito Simples | | | | | |
| Estação | Verão | - | 19,6776* | 4,1805* | - |
| | Inverno | - | 36,2163* | 10,1624* | - |
| Disponibilidade Hídrica | 125 | - | 93,7992* | 0,1190 | - |
| | 100 | - | 63,1627* | 2,6732* | - |
| | 75 | - | 94,8676* | 4,0501* | - |
| Face | 50 | - | 20,9535* | 3,8318* | - |
| | Abaxial | - | 399,0313* | 6,0813* | - |
| | Adaxial | - | 6,8450* | 38,2594* | - |

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro; r²: coeficiente de determinação; CV: coeficiente de variação; - não apresenta interação significativa a 5 % de probabilidade de erro.

Como o verão é caracterizado pelas maiores temperaturas do ar, maior incidência de radiação solar e menor umidade relativa do ar, a mesma apresenta maior demanda evaporativa da atmosfera, assim é possível observar (Figura 1) que ambas as variáveis estudadas apresentaram valores superiores em tal estação, sendo a temperatura da folha 9,8 °C superior, a transpiração 4,1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ superior, a resistência de difusão de vapor nos estômatos 0,66 $\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ superior e a radiação fotossinteticamente ativa 196,9 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ superior aos valores observados na estação de inverno.

Ciavatta, (2010) estudando o efeito da fertirrigação em genótipos de eucalipto observou da mesma forma que no presente trabalho que a estação verão apresentou maiores valores de transpiração. Também Nogueira et al., (2000) constatou aumentos significativos na demanda hídrica em acerola devido a ascensão da taxa de transpiração na estação de maior temperatura, menor umidade relativa e menor precipitação pluviométrica.

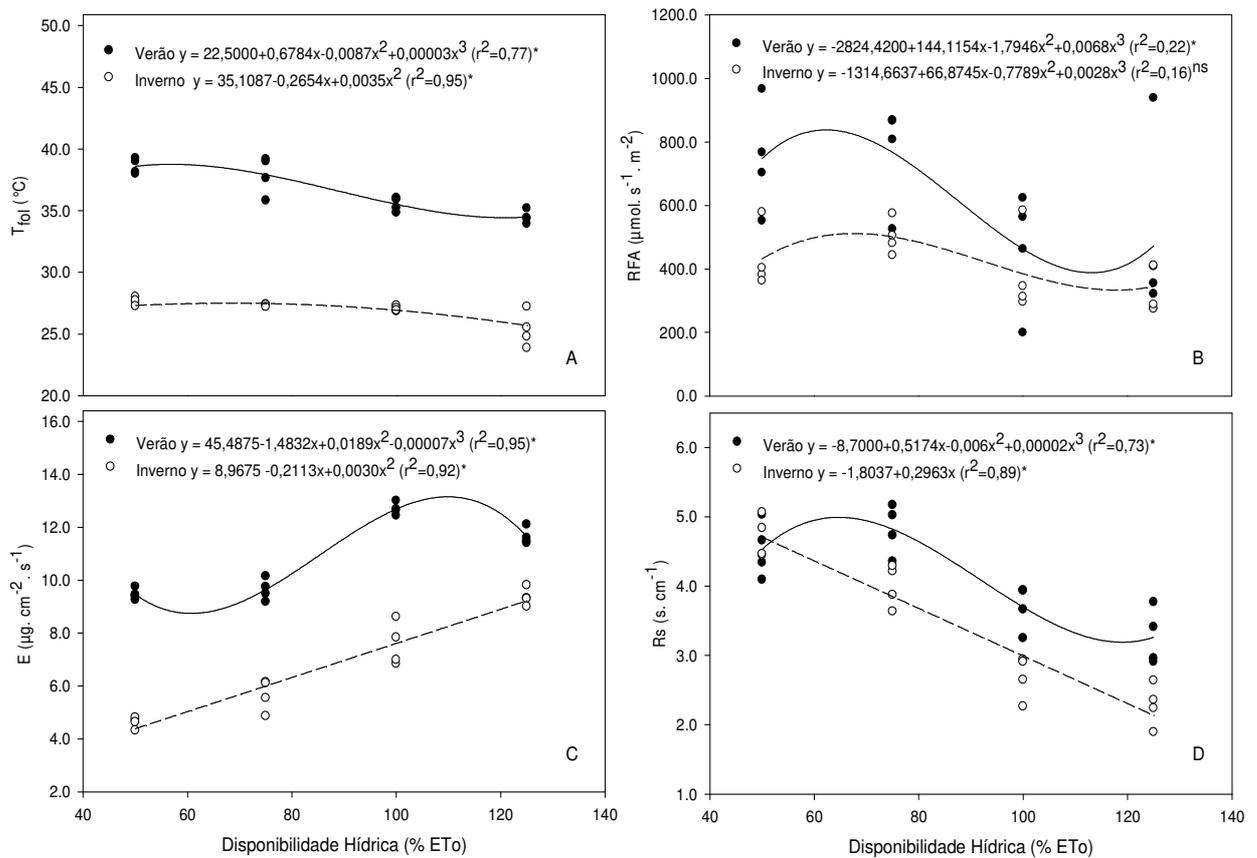


Figura 1 – Relações fisiológicas e térmicas da espécie *Aloysia triphylla* nas estações verão e inverno, em função da disponibilidade hídrica, onde (A) T_{fol} : temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$), (B) RFA: radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol. s. m}^{-2}$), (C) E: Transpiração ($\mu\text{g. cm}^{-2}. \text{s}^{-1}$) e (D) R_s : resistência a difusão de vapor (s. cm^{-1}). Frederico Westphalen – RS, 2012.

Na medida em que ocorre o aumento da DH observa-se que a temperatura da folha é reduzida (Figuras 1A e 2A), sendo a resposta mais pronunciada no verão (Figura 1A). As maiores disponibilidades hídricas auxiliam no processo da transpiração e conseqüentemente na perda de calor latente, possibilitando aos vegetais o controle de sua temperatura (KLAR, 1984; MAGALHÃES et al., 1995). Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al., (2005), ao analisar a condutância estomática na cultura do feijão. O mesmo constatou que a temperatura foliar para os tratamentos com menor disponibilidade hídrica foi superior aos demais.

A redução na disponibilidade hídrica também resultou no decréscimo da taxa de transpiração (Figuras 1C e 2C), assim como observado por Nogueira et al., (2001) em plantas

de acerola, onde o mesmo constatou reduções nesta variável fisiológica em razão do aumento do período de déficit hídrico.

De acordo com as figuras 1D e 2D, pode-se observar que a resistência à difusão de vapor pelos estômatos apresentou maiores valores frente à menor disponibilidade hídrica, ao contrário da transpiração, a qual apresentou comportamento ascendente, em função do aumento da disponibilidade hídrica.

Da mesma forma, Sakai et al., (1987); Oliveira et al., (2005), estudando o efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro, inferiram que plantas sob déficit hídrico apresentaram maiores valores de resistência estomática e temperatura foliar. Também Turner; Begg (1973) ao analisar a espécie *Zea mays*, Szeicz et al., (1973) em plantas de sorgo, Jung; Scott (1980) na cultura da soja, e Biscoe et al., (1976) em cevada e trigo, obtiveram resultados semelhantes aos aqui apresentados.

Em uma análise conjunta dos três fatores estudados (Tabela 2) é possível inferir que a transpiração foi maior em todos os níveis de disponibilidade hídrica na estação verão, sendo a face abaxial responsável pelos maiores valores observados em ambas as estações, exceto na disponibilidade de 50%, a qual não apresenta diferença estatisticamente significativa. Assim, a face abaxial das folhas de *Aloysia triphylla* é responsável por 57,77; 55,31; 70,56 e 60,24% da transpiração no verão e 55,05; 56,96; 57,88 e 53,41% da transpiração no inverno nas disponibilidades hídricas de 125, 100, 75 e 50 % da ETo, respectivamente.

Ao compararmos a transpiração ocorrida nas duas estações do ano, observa-se uma demanda na ordem de 5,44; 12,61; 12,97 e 17,19% superior no verão nas disponibilidades hídricas 125, 100, 75 e 50 % da ETo, respectivamente (Tabela 2). A transpiração está diretamente ligada às condições do ambiente em que a planta se desenvolve. Logo, a maior incidência de radiação fotossinteticamente ativa (Figura 1-B), resulta na elevação da temperatura do ar e das folhas, e conseqüentemente no déficit de pressão de vapor da atmosfera fazendo com que haja uma maior demanda hídrica e conseqüentemente maior transpiração no verão.

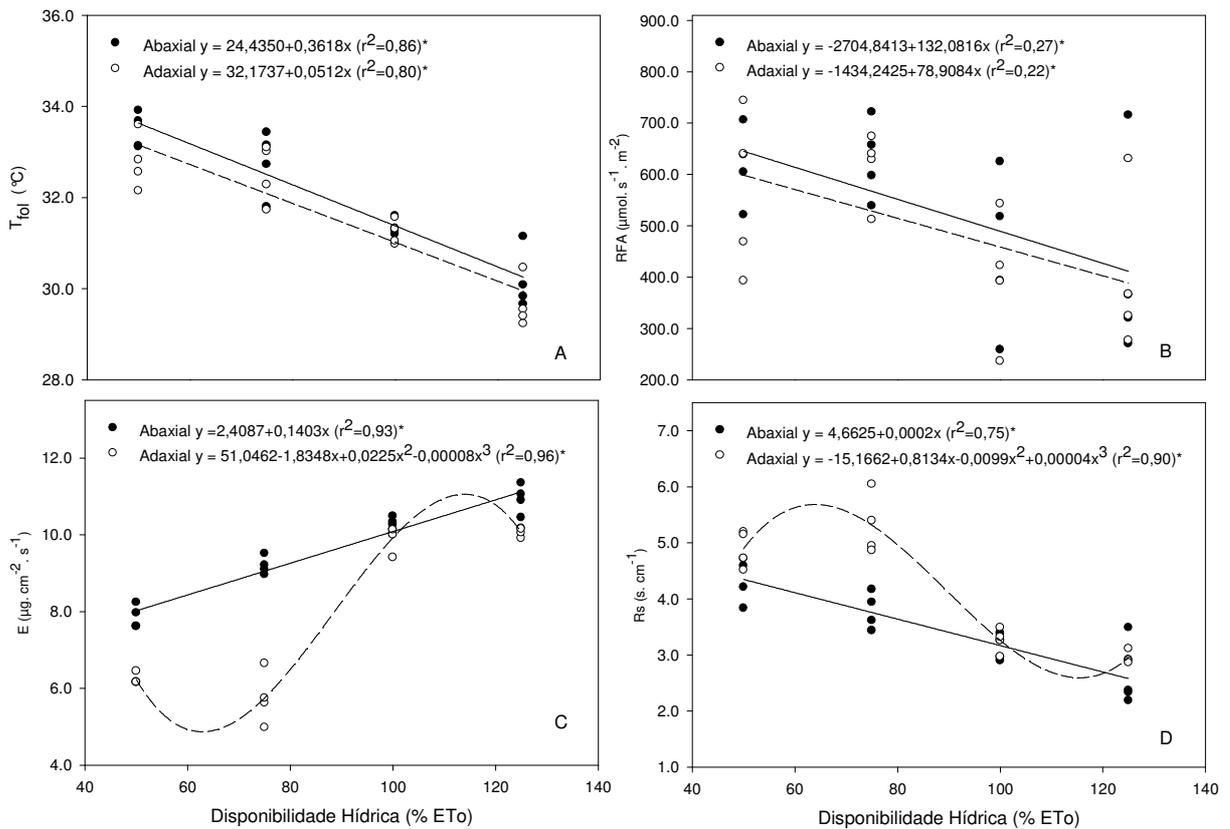


Figura 2 – Relações fisiológicas e térmicas nas faces Abaxial (inferior) e Adaxial (superior) na espécie *Aloysia triphylla*, em função da disponibilidade hídrica, onde (A) T_{fol} : temperatura da folha (°C); (B) RFA: radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); (C) E: Transpiração ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e (D) R_s : resistência a difusão de vapor ($\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$). Frederico Westphalen – RS, 2012.

A transpiração é controlada pela resistência estomática à difusão de vapor, assim, os valores observados tornam-se inversos, ou seja, a face abaxial responsável pela maior transpiração assume valores de R_s inferiores, na ordem de 24,85; 17,57; 36,72 e 21,28% no verão e 19,91; 19,33; 13,25 e 8,61 % no inverno para as disponibilidades hídricas 125, 100, 75 e 50 % da ETo, respectivamente.

São inúmeros os trabalhos que tratam da dependência da demanda hídrica a radiação solar incidente no ambiente (LAKE et al., 1966; MERMIER et al., 1970; VILLELE, 1972; BENZARTI et al., 1982), sendo esta responsável pelos processos de aquecimento do ambiente, acúmulo de biomassa pela fotossíntese, pelo controle da abertura estomática entre outros. No entanto mesmo que ocorram todos os processos que desencadeiam as trocas gasosas, na presença de uma disponibilidade reduzida de água, a planta cria mecanismos de

reduzir a transpiração, no caso do presente trabalho através do aumento da resistência ao fluxo de vapor pelos estômatos.

Tabela 2 – Desdobramento da interação entre época, disponibilidade hídrica e face da folha, para as variáveis fisiológicas E: Transpiração ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e Rs: resistência a difusão de vapor ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) em *Aloysia triphylla* cultivada em ambiente protegido. Frederico Westphalen – RS, 2012.

| Estação | Face | Disponibilidade Hídrica (% ETo) | | | |
|---------|---------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 125 | 100 | 75 | 50 |
| E | | | | | |
| Verão | Abaxial | 13,46 ^{aA*} | 14,03 ^{aA} | 13,61 ^{aA} | 11,41 ^{aA} |
| | Adaxial | 9,84 ^{aB} | 11,34 ^{aB} | 5,677 ^{aB} | 7,53 ^{aB} |
| Inverno | Abaxial | 10,31 ^{bA} | 8,63 ^{bA} | 6,56 ^{bA} | 4,94 ^{bA} |
| | Adaxial | 8,42 ^{bB} | 6,52 ^{bB} | 4,78 ^{bB} | 4,31 ^{bA} |
| Rs | | | | | |
| Verão | Abaxial | 2,45 ^{aB} | 3,05 ^{aB} | 3,05 ^{aB} | 3,57 ^{bB} |
| | Adaxial | 4,07 ^{aA} | 4,35 ^{aA} | 6,59 ^{aA} | 5,50 ^{aA} |
| Inverno | Abaxial | 1,83 ^{bB} | 2,17 ^{bB} | 3,47 ^{aB} | 4,30 ^{aB} |
| | Adaxial | 2,74 ^{bA} | 3,21 ^{bA} | 4,53 ^{bA} | 5,11 ^{aA} |

* letras iguais na coluna, minúscula entre épocas e maiúscula dentro da época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisarmos a taxa transpiratória nas faces da folha, é possível inferir que no inverno tanto a face abaxial como adaxial apresentam um comportamento similar, e crescente em decorrência do aumento da DH. Já a face Adaxial no verão tem grande variação, sendo mais pronunciada na DH de 100 % da ETo. A face Abaxial é responsável pela maior parte da transpiração da folha superando a face adaxial em $0,99 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Também no inverno é observada uma resposta mais linear a DH em ambas as faces da folha quanto à resistência a difusão de vapor (Figura 3), ao passo que no verão a resistência é maior na face adaxial corroborando com os resultados obtidos O'Toole & Cruz (1980), que na cultura do arroz observaram interações significativas entre níveis de disponibilidade hídrica e o desempenho da face da folha quanto à resistência estomática ao fluxo de vapor, demonstrando que a face adaxial apresentou maior resistência.

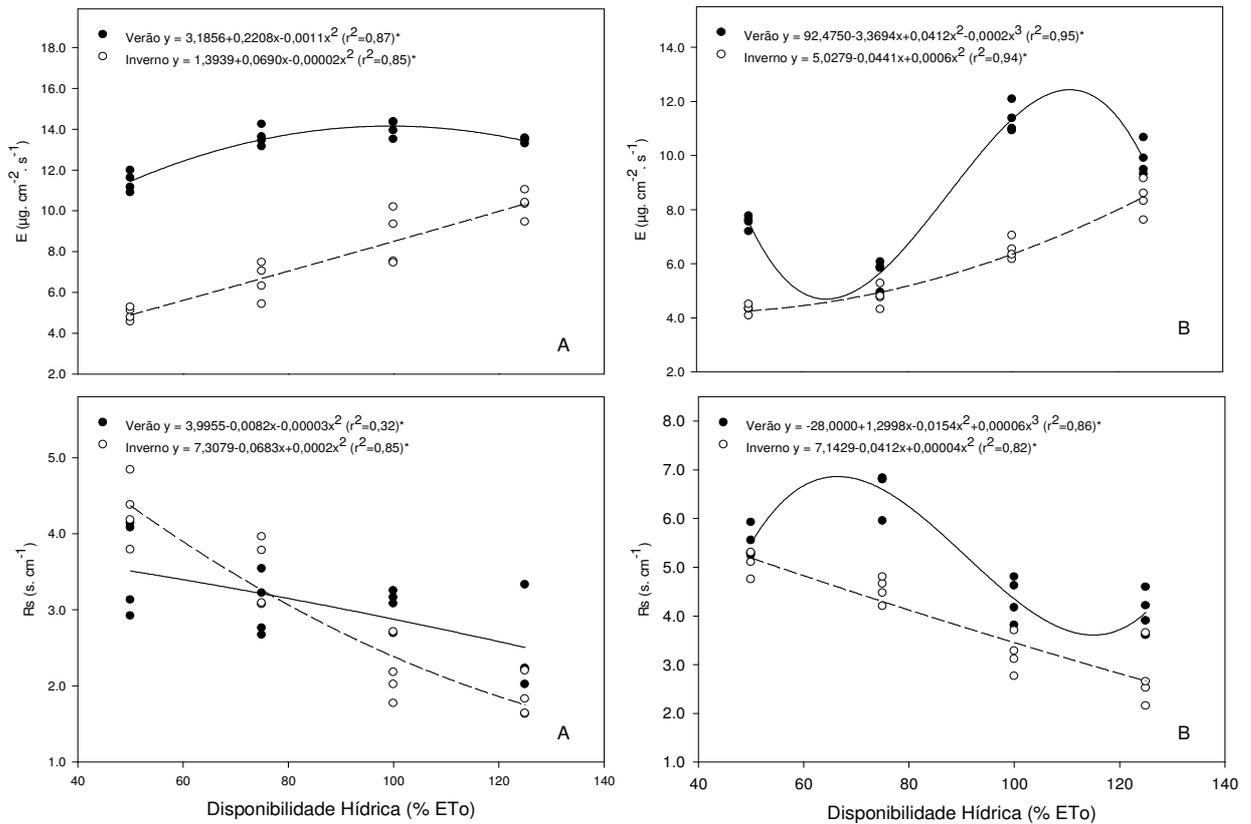


Figura 3 – Desempenho fisiológico da espécie *Aloysia triphylla* nas faces Abaxial (A) e Adaxial (B) nas estações verão e inverno em função da disponibilidade hídrica, onde E: Transpiração ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); Rs: resistência a difusão de vapor ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$). 2012, Frederico Westphalen - RS.

4.6 Conclusões

A estação do ano verão é responsável pelos maiores valores de temperatura da folha, radiação fotossinteticamente ativa, transpiração e resistência à difusão de vapor pelos estômatos.

As trocas gasosas em *Aloysia triphylla* são altamente influenciadas pela disponibilidade hídrica. A redução na DH é responsável pelo aumento nos valores de resistência estomática ao fluxo de vapor e decréscimo na taxa de transpiração, resultando na manutenção da energia térmica na folha.

A temperatura da folha e os processos de troca gasosa apresentam maiores valores na face abaxial da espécie estudada.

4.7 Referências Bibliográficas

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1. ed. Rome: FAO, 1998. 300p

BENZARTI, J. et al. Etude expérimentale de l'évapotranspiration potentialle sous serre en climat semi aride. **Annales INRA Tunisie**, Ariona, v. 55, n. 1, p. 1-24, 1982.

BERGAMASHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 733-43, 1988.

BISCOE, P. V. et al. Daily and seasonal changes of water potential in cereals. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, v. 273, p. 565-580, 1976.

CASAROLI, D. et al. Estimativa da taxa de transpiração do feijoeiro a partir de medidas de porometria, em diferentes camadas do dossel. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, p. 149-153, 2008.

CIAVATTA, S. F. **Fertirrigação na produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus spp.* nos períodos de inverno e verão**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

JUNG, P. K.; SCOTT, H. D. Leaf water potential, stomatal, resistance and temperature relations in field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, v. 27, p. 986-987, 1980.

KLAR, S. R. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

LAKE, J. V. et al. Seasonal variation in the transpiration of glasshous plants. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 3, p. 183-196, 1966.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002. 512p.

MAGALHÃES, P. C. et al. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARUR, C. J.; MAZZAFERA, P. Y MAGALHÃES, A. C. Atividade da enzima reductase do nitrato em algodoeiro submetido ao déficit hídrico e posterior recuperação da turgescencia. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 2, p. 277-281, 2000.

MARTINEZ, C. A.; MORENO, U. Expresiones fisiologicas de resistencia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estres hidrico en condiciones de campo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 4, p. 33-38, 1992.

MERMIER, M. et al. Premières mesures d'évaporation sous serre. **Pépinieristes Horticulteurs Maroîchers**, Paris, v. 103, p. 6255-6260, 1970.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. 2000. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1331-1342, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas**. 1997. 207p. Tese (Doutorado em ecologia e recursos naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

O'TOOLE J. C.; CRUZ R. T. Response of Leaf Water Potential, Stomatal Resistance, and Leaf Rolling to Water Stress. **Plant Physiology**. v. 65, p. 428-432, 1980.

RODRIGUES-DAS-DORES, R. G.; CASALI, V. W. D. **Plantas Medicinais e Aromáticas: controle de qualidade de fitoterápicos**. 1. ed. Ponte Nova: D&M gráfica, 2007. 160 p.

SAKAI, E. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro (cv.IAC-carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Brasília. [**Anais**]. Brasília: PRONI, 1987. p. 370-6.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 2003. 200p.

SZEICZ, G.; VAN BAVEL, C. H. M.; TAKAMI, S. Stomatal factor in the water use and dry matter production by sorghum. **Agricultural Meteorology**, v. 12, p. 361-389, 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TURNER, N. C.; BEGG, J. E. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. I. At high soil water potential. **Plant Physiology**, v. 51, p. 31-36, 1973.

VILLELE, O. de. Les besoins en eau des cultures serre. Essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. **Acta Horticulturae**. Den Haag, v. 35, p. 123-130, 1972.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito da redução na DH foi observado em uma rota de respostas seqüenciais, assim o primeiro passo para a adaptação foi à redução da condutância estomática através do fechamento dos estômatos, fazendo com que conseqüentemente a transpiração fosse reduzida. Tal fato faz com que seja também reduzida a perda de calor latente pelo processo de transpiração ocasionando o aumento da temperatura da folha.

Na sequencia dos adventos foi observado a redução da expansão foliar, e até mesmo redução de biomassa de parte aérea. Logo, é possível inferir que além da redução da condutância estomática a espécie através da ativação de seu metabolismo secundário desencadeando a produção de ácido abscísico e outros metabólicos, promoveu a redução da área transpirante, ou seja, de folhas.

A ativação do metabolismo secundário para produção de hormônios que agem em resposta a estresses ambientais é vastamente estudada e segundo Bray (1993), é caracterizada por apresentar uma cascata de eventos que culmina em respostas adaptativas, tais como as observadas no presente trabalho, ou seja, redução da condutância estomática, transpiração, área foliar, biomassa e altura de planta.

A soja o milho e o trigo são espécies que por exemplo tem sua produção baseada em grãos e que em condições estressantes acabam reduzindo sua produtividade. No entanto ao contrário de tais “commodities”, em cultivos de plantas medicinais é preconizado a produção de óleo essencial, ou seja, volume de ingrediente ativo. Neste contexto ao mesmo tempo em que a espécie estudada reduziu sua produção de biomassa, elevou o teor de óleo essencial em resposta ao aumento da atividade metabólica.

Por fim, é possível inferir que em *Aloysia triphylla* a produção de óleo essencial é favorecida pela redução da disponibilidade hídrica, não sendo observado diferença estatística na produção de óleo por unidade de área em função da DH nas quatro estações do ano. Tal característica nos leva a concluir que a espécie compensa a produção de óleo pelo aumento do teor presente no tecido vegetal.

Em relação às trocas gasosas, também verificou-se a contribuição de cada face da folha em tal processo, assim, observou-se variações ao longo das estações do ano e em função da DH, sendo a face abaxial responsável pelos maiores valores de transpiração.

6 CONCLUSÃO GERAL

A produção de biomassa foi afetada significativamente pela sazonalidade e pela disponibilidade hídrica (DH), sendo os maiores valores observados na primavera e na DH de 125% da ETo. Ao passo que a o Teor de óleo no tecido foi superior nas estações verão e inverno, e na DH de 75% da ETo.

A produção de óleo por unidade de área foi maior na estação primavera e menor no inverno. A espécie medicinal *Aloysia triphylla* tem a capacidade de compensar a produção de óleo essencial em razão do teor presente na biomassa em condições de menor disponibilidade hídrica.

Reduções na disponibilidade hídrica resultam em menor produção de biomassa, área foliar, medida indireta da clorofila (SPAD) e altura de planta.

A estação do ano verão é responsável pelos maiores valores de temperatura da folha, radiação fotossinteticamente ativa, transpiração e resistência à difusão de vapor pelos estômatos.

O desempenho fisiológico da espécie *Aloysia triphylla* é altamente influenciado pela disponibilidade hídrica, sendo sua redução responsável pelo aumento nos valores de resistência estomática ao fluxo de vapor e decréscimo na taxa de transpiração, resultando na manutenção da energia térmica na folha.

A temperatura da folha e os processos de troca gasosa apresentam maiores valores na face abaxial da espécie estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, R.; CORDONNIER-PRATT, M. M.; PRATT, L.H. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. **Plant Physiology**. 123:363–370, 2000.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1. ed. Rome: FAO, 300p, 1998.

ANDRADE, E. H. A.; ZOGHBI, M. G. B.; MACHADO, L. B. Variação sazonal de germacrona e antractilona em óleo essencial de *Siparuna guianensis* Aublet. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 6, n. 3, p. 62-64, 2004.

BENZARTI, J. et al. Etude expérimentale de l'évapotranspiration potentielle sous serre en climat semi aride. **Annales INRA Tunisie**, Ariona, v. 55, n. 1, p. 1-24, 1982.

BERGAMASHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 733-43, 1988.

BISCOE, P. V. et al. Daily and seasonal changes of water potential in cereals. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, v. 273, p. 565-580, 1976.

BOTREL, P. P. et al. Teor e composição química do óleo essencial de *Hyptis marrubioides* EpL. Lamiaceae em função da sazonalidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 533-538, 2010.

BRAY, E. A. Molecular responses to water deficit. **Plant Physiology** v. 103, p. 1035- 1040. 1993.

BRESCIANI, L. F. et al. Seazonal variation of kaurenoic acid, a hypoglycemic diterpene present im *Wedelia paludosa* (*Acmelia brasiliensis*) (Asteraceae). **Zeitschrift Naturforsch** **59c**, p. 229-232, 2004.

CARNAT A. et al. The aromatic and polyphenolic composition of lemon verbena tea. **Fitoterapia**, v. 70, p. 44-49, 1999.

CARVALHO, L. M. et al. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

CASAROLI, D. et al. Estimativa da taxa de transpiração do feijoeiro a partir de medidas de porometria, em diferentes camadas do dossel. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, p. 149-153, 2008.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. M. **Manual de fisiologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 651 p. 2005.

CHANG-HUNG, C. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Crit. Rev. Plant Sci.** v. 18, p. 609–636. 1999.

CIAVATTA, S. F. **Fertirrigação na produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus spp.* nos períodos de inverno e verão**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

CRAVEIRO, A.; FERNANDES, A. G.; ANDRADE, C. H. S. **Óleos essenciais de plantas do nordeste**. Fortaleza, UFC, p. 210. 1981.

CURTI, M.; CZEPAK, M. P.; MARTINS, J. M. Estruturação do jardim didático de plantas aromáticas, medicinais e condimentares, ocorrentes em Marechal Cândido Rondon-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [**Anais**] Campinas: Instituto Agronômico, p. 62, 2003.

CZEPAK, M. P. Produção de óleo bruto e mentol cristalizável em oito frequências de colheita de menta (*Mentha arvensis* L.). **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares: avanços na pesquisa agronômica**. Botucatu: UNESP, v. 2, p. 53-79, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 412 p, 2006.

EVANS, W. C. **Farmacognosia**. 13 ed. México, D. F.: Nueva Editorial Interamericana, p. 453, 1991.

FIGUEIRA, G. M. et al. Atividade antimicrobiana do óleo essencial de espécies da coleção de plantas medicinais do CPQBA/UNICAMP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [Anais] Campinas: Instituto Agrônômico, p. 34, 2003.

FONSECA, J. M. et al. Potential implications of medicinal plant production in controlled environments: The case of feverfew (*Tanacetum parthenium*). **HortScience**, v. 41, p.531-535, 2007.

GIL, A.; MORVILLO, C.; CONDE, C. *Aloysia citriodora* variabilidad intraespecífica y compromiso entre la acumulación de biomasa y el aceite esencial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 2. [Anais] Campinas: Instituto Agrônômico. p. 21. 2003.

GOINGUENÉ, S. P.; TURLINGS, T. C. J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. **Plant Physiology**. v. 129, p. 1296-1307, 2002.

HARTMANN, T. **Global harmonization of herbal health claims**. *Ent Exp Appl* 80: 177-179. 1996.

HORNER, J. D. Nonlinear effects of water deficits on foliar tannin concentration. **Biochem. Syst. Ecol.** v. 18, p. 211–213. 1990.

JENSEN, A. B. et al. Drought signal transduction in plants. **Plant Growth Regul.** v. 20, p. 105–110. 1996.

JUNG, P. K.; SCOTT, H. D. Leaf water potential, stomatal, resistance and temperature relations in field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, v. 27, p. 986-987, 1980.

KEINANEM, M. Trade-offs in phenolic metabolism of silver birch: Effects of fertilization, defoliation, and genotype. **Ecology**. v. 9, p. 1–27, 1999.

KLAR, S. R. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

KOBASHI, K.; GEMMA, H.; IWAHORI S. Abscisic acid content and sugar metabolism of peaches grown under water stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 125, p. 425–428, 2000.

KOUHILA, M. et al. Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*). intraespecífica y compromiso entre la acumulación de biomasa y el aceite. **Journal of Food Engineering**. n.47, p.281-287, 2000.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995.

KUMAR, A.; SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought to tolerance in oilseed *Brassica* species. **Annals of Botany**, Oxford, v.81, p.413-420, 1998.

KUTCHAN, T. M. Herbal mixtures in the traditional medicine of Eastern Cuba. **Plant Physiol** 125: 58-62. 2001.

LAKE, J. V. et al. Seasonal variation in the transpiration of glasshouse plants. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 3, p. 183-196, 1966.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LARCHER, W. **Ecologia vegetal**, São Carlos: RiMa Artes e Textos, . p. 33-40, 2000.

LAWLESS, J. **The encyclopedia of essential oils: the complete guide to the use of aromatic oils on aromatherapy, herbalism, health and well-being**. London: Thorsons. Ed. 1, 256p, 1992.

LAZCANO-FERRAT, I.; LOVATT C. J. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. **Crop. Science**, v. 39, p. 467-475, 1999.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 331-335, 1996.

LINDROTH, R. L.; HSIA, M. T. S.; SCRIBER, J. M. Tropical Plants. **Biochem Syst Ecol**. v. 15, p. 681-682, 1987.

LOPES, R. C; CASALI, V. W. D.; BARBOSA, L. C. A.; CECON, P. R. Influência de três regimes hídricos na produção de óleo essencial em sete acessos de *Polygonum punctatum* Ell. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 3, p. 7-10, 2001.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 512p, 2002.

MAGALHÃES, P. C. et al. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARCUM, D. B.; HANSON, B. R. Effect of irrigation and harvest timing on peppermint oil yield in California. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, n. 1-2, p. 118-128, 2006.

MARQUES, M. O. M. **Óleos essenciais: produção e comercialização**. In: ENCONTRO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 18. 2004, Lavras. [**Palestras**] Lavras: Sociedade Brasileira de Química, 2004. CD ROM.

MARTINEZ, C. A.; MORENO, U. Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estres hidrico en condiciones de campo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 4, p. 33-38, 1992.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas Mediciniais**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, p. 220, 2000.

MARUR, C. J.; MAZZAFERA, P. Y.; MAGALHÃES, A. C. Atividade da enzima reductase do nitrato em algodoeiro submetido ao déficit hídrico e posterior recuperação da turgescencia. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 2, p. 277-281, 2000.

MCCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studyng physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p.3 53-360, 1989.

MCCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studyng physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 353-360, 1989.

MERMIER, M. et al. Premières mesures d'évaporation sous serre. **Pépinieristes Horticulteurs Maroîchers**, Paris, v. 103, p. 6255-6260, 1970.

MING, L. C. Adubação orgânica no cultivo de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. – Verbenaceae. In: _____. **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares: avanços na pesquisa agronômica**. Botucatu: UNESP, 1998. v. 1. p. 165-191.

MINOLTA CAMERA Co. Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments Divisions, p. 22, 1989.

MONTANARI JUNIOR, I. **Aspectos do cultivo comercial de calêndula**. In: [WORKSHOP SOBRE PLANTAS MEDICINAIS: CULTIVO E BENEFICIAMENTO PÓS-COLHEITA]. 2004, Campinas: CPQBA, UNICAMP, 2004. p. 70-72.

MÖSE, J. R.; LUKAS, G. **Arzeneim**, Forschung, v. 7, p. 687-692, 1957.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas**. Tese (Doutorado em ecologia e recursos naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. p. 207, 1997.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. 2000. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1331-1342, 2000.

O'TOOLE, J. C.; CRUZ, R. T. Response of Leaf Water Potential, Stomatal Resistance, and Leaf Rolling to Water Stress. **Plant Physiology**. v. 65, p. 428-432, 1980.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

PALEVITCH, D. **Recent advances in the cultivation of medicinal plants**. Acta Horticulturae, v. 208, p. 29- 35, 1987.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. **Cultivo e processamento de plantas medicinais**. Lavras: UFLA, p. 47, 2002.

PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. **Cultivo e processamento de plantas medicinais**. Lavras: UFLA, p. 47, 2002.

PITAREVIC, I. Seasonal variation of essential oil yield and composition of dalmatian sage, *Salvia officinalis*. **J. Nat. Prod.** v. 47, n. 3, p. 409-412, 1984.

RODRIGUES-DAS-DORES, R. G.; CASALI, V. W. D. **Plantas Medicinais e Aromáticas: controle de qualidade de fitoterápicos**. 1. ed. Ponte Nova: D&M gráfica, p. 160, 2007.

RODRIGUES-DAS-DORES, R. G.; CASALI, V. W. D. **Plantas Medicinais e Aromáticas: Controle de Qualidade de Fitoterápicos**. 1. ed. Ponte Nova: D&M gráfica, 160 p, 2007.

SAKAI, E. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro (cv.IAC-carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Brasília. [**Anais**]. Brasília: PRONI, p. 370-6, 1987.

SANTOS, R. F.; CARLESSO R. Déficit hídrico e os processos morfológico e Fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.1998.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 200p, 2003.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 2003. 200p.

SILVA, F. et al. Teor de óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum*) em diferentes épocas e horários de colheita. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 16., Recife, 2000. [**Resumos**] Recife, 2000. p. 76.

SILVA, R. **Crescimento e teor de óleo essencial de *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton (Verbenaceae), em função da adubação orgânica, sazonalidade, horário de colheita e processamento pós-colheita**. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SIMON, J. E. et al. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. **Journal of Essential Oil Research** v. 4: p. 71-75, 1992.

SZEICZ, G.; VAN BAVEL, C. H. M.; TAKAMI, S. Stomatal factor in the water use and dry matter production by sorghum. **Agricultural Meteorology**, v. 12, p. 361-389, 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 848, 2009.

_____.; _____. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 819, 2008.

_____.; _____. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: ArtMed. p. 719, 2004.

_____.; _____. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TAVEIRA, F. S. N. et al. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 31, p. 69-75, 2003.

THIELE, A. et al. Increased xanthophylls cycle activity and reduce D1 protein inactivation related to photoinhibition in two plant systems acclimated to excess light. **Plant Sci.** 115:237–250, 1996.

TURNER, N. C.; BEGG, J. E. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. I. At high soil water potential. **Plant Physiology**, v. 51, p. 31-36, 1973.

TURNER, N. C.; JONES, M. M. **Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress.** TURNER, N. C. e KRAMER, P. J. (Ed.) Wiley Publ., New York. p. 87-103, 1980.

UESUGI, P. et al. Influência de dosagens de IBA (ácido indol-butírico) no óleo essencial de estacas caulinares de *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS, 2., 2003, Campinas. [Anais] Campinas: Instituto Agronômico. p. 59, 2003

VELLOSO MAL, ABREU IN, MAZZAFERA P. Indução de metabólitos secundários em plântulas de *Hypericum brasiliense* Choisy crescendo in vitro. *Acta Amazônica* v. 39, n. 2, p. 267–272, 2009.

VILLELE, O. de. Les besoins en eau des cultures serre. Essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. *Acta Horticulturae*. Den Haag, v. 35, p. 123-130, 1972.

VITTI, A. M.; BRITO, J. O. **Produção de óleo essencial de eucalipto**. IPEF- NOTÍCIAS, v. 23, n. 146, p. 11, 1999.

YIN, C. et al. Morphological and physiological responses of two contrasting *Poplar* species to drought stress and exogenous abscisic acid application. *Plant Science*, v. 167, n. 5, p. 1091-1097, 2004.