**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Respostas do orégano a diferentes potenciais matriciais da água no
solo**

Hugo Thaner dos Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

Hugo Thaner dos Santos
Engenheiro Agrônomo

Respostas do orégano a diferentes potenciais matriciais da água no solo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Santos, Hugo Thaner dos

Respostas do orégano a diferentes potenciais matriciais da água no solo / Hugo Thaner dos Santos. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Óleo essencial 2. Biomassa 3. Cultivo Protegido 4. Propriedades Dielétricas
5. Gotejamento I. Título

CDD 633.84
S237r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Emoção é o que sinto ao descrever este agradecimento. Agora me recordo do *making-off* de um seriado que vi um tempo atrás e vivencio o que atores falaram ao final da série: “tudo que é bom chega ao fim”.

Glorificado e Exaltado seja o Senhor Deus criador dos céus e da terra. Hoje vivo o Salmo 28.6 que diz “Bendito seja o Senhor Deus, pois Ele ouviu a minha oração”. Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter sido ao longo de todos os anos da minha vida um ajudador fiel, pois pela misericórdia dEle esta dissertação foi concretizada e Ele permitiu que a partir do pouco fosse feito o muito e do nada o tudo.

Minha amada família por ter me apoiado em absolutamente tudo na realização deste mestrado. Meu pai Carlos Augusto que ajudou nos experimentos, minha mãe Vilma que me sempre ouviu meus desabafos de estresse e raiva e ainda sempre me incentivou em investir na minha formação acadêmica. Minha irmã Taís que durante todos os dias do mestrado me ligou para saber se eu estava bem e por sempre está disposta em conversar e rir.

Aos grandes amigos, pessoas que Deus levantou para me ajudar nos momentos mais difíceis da minha vida: Derli Coelho, Magda Santos, Rondinelli Amaral, Samuel Amaral, Josélia Vieira, Muara Cristian, Delys Lago, Andréia Silva, Fabíola Vieira Gonçalves, Andrezza de Oliveira Braga, Dayse Oliveira, Nathalia Miranda, Breno Ferreira, Marcone Vasconcellos (*in memoriam*), Elias Mendes, Ernane Gomes, Daniela Pinto Gomes, Selma Cris, Lucas Freitas, Débora Candeias, Joice Lemos, Aldir Carlos Silva e Asdrúbal Farías.

Aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da ESALQ por todos os ensinamentos, principalmente ao Prof. Tarlei Arriel Botrel, Prof. Sérgio Oliveira Moraes e Prof^a. Tamara Maria Gomes pelas valiosas sugestões no Exame de Qualificação; Prof. Sérgio Nascimento Duarte pelas divertidas conversas; Prof. José Antonio Frizzone pela receptividade e ensinamentos; Prof^a. Patricia Angélica Alves Marques pela confiança, momentos de reflexão e orientação.

Agradeço também a Prof^a. Renata Alcarde Sermarini que prontamente se dispôs a ajudar na dissertação e por ter sido uma co-orientadora e conselheira nos momentos de difíceis tomadas de decisão no mestrado. A Prof^a. Sonia Maria

De Stefano Piedade pela paciência e imensos ensinamentos em Estatística e Experimentação Agrícola; ao Prof. Ricardo Leite Camargo pelos grandes ensinamentos em docência no Ensino Superior e por ter sido um amigo nos momentos mais difíceis do mestrado.

A banca examinadora pelas sugestões e críticas ao trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado (processo 130853/2014-3).

Aos corajosos companheiros de sala e experimentos pela paciência, ajuda, ensinamentos e apoio: Luís Carlos Nunes Carvalho, María Alejandra Moreno Pizani, Hermes Soares da Rocha, Jefferson Vieira José, Grasiela Ferraz Perpétuo e Danilo Gonçalves Nunes.

Aos estagiários de graduação e Ensino Médio pela responsabilidade e eficiência: Sílvio Humeniuk, Stephanie do Carmo, Juliana Zucolotto, Giovanni Papa, Jessica Camila, Yane Iacope e Maria Eugênia Richter.

Aos vizinhos de sala e companheiros de disciplinas pelos ensinamentos e ajuda: Osvaldo Nogueira, Marcos Antonio Correa, Pedro Chinelato, Fernando Hinnah, Cristiam Bosi, Fabrício Oliveira, Eusímio Fraga, Fernando Barbosa, Raoni Bosquilia, Lucas Santos, Conan Salvador, Ananias Júnior, Érica Nakai, Rodnei Rizzo, Sarah Mello, Gustavo Carvalho, Haroldo Torres, Henrique Gioia, Aline Soares, Josi Huffner, Mayara Araujo, Siglea Chaves, Ralph Hammer e Luciana Leme.

A toda turma de 2ª feira a noite do PAE em 2014/2 pelas divertidas aulas e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ pela ajuda na condução e execução dos experimentos, principalmente a Paula Bonassa, Gilmar Grigolon, Beatriz Novaes, Fernando Novello, Antonio Gozzo, Davilmar Colevatti, Luiz Camargo e Hélio Gomes, pessoas sempre prestativas, organizadas e muito competentes em seus trabalhos.

A Divisão de Atendimento a Comunidade da ESALQ pela ajuda na instalação em Piracicaba e na finalização do mestrado, em especial a Solange e a Faride.

Ao Centro de Tecnologia da Informação “Luiz de Queiroz” (CIAGRI) da ESALQ pelos ensinamentos e paciência, em especial a Viviane e a Gislane.

Ao USP Recicla pela prestatividade em ajudar na infraestrutura dos experimentos.

A Prefeitura do Câmpus “Luiz de Queiroz”, em especial ao Luiz Fernando da Seção de Captação e Tratamento de Água, a Cleide e a Lídia do Serviço de Alimentação pela prestatividade.

Ao Horto de Plantas Medicinais Walter Accorsi, em especial, ao Lucas Moraes e a Bruna Juliani, pelo fornecimento das mudas de orégano.

Ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ, em especial, ao Guilherme Martin, pela ajuda na pós-colheita das plantas.

A Silvia Zinsly pelos ensinamentos, paciência, revisão, editoração e tramitação da dissertação.

A Biblioteca Central da ESALQ, em especial a Vilma, Thais e Sandra; a Biblioteca do Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali da Università di Pisa, em especial a Rosanna Bertozzi; a Biblioteca Centrale da Facoltà di Agraria da Università di Bari, em especial ao Enrico Lucaioli; a Biblioteca Centrale do Centro Nazionale di Ricerca, em especial ao Danilo Dezzi; a Biblioteca di Scienze Ambientali da Università di Camerino, em especial a Laura Carimini e a Biblioteca da Embrapa Agrobiologia pelo eficiente atendimento na comutação bibliográfica e auxílio com as referências desta dissertação.

Ao Laboratório de Horticultura do Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali da Università di Pisa pela ajuda e informações sobre o cultivo das plantas condimentares, em especial: Mirco Rimini, Giulia Carmassi, Marco Ziliani e Marco Landi.

Ao Laboratório Química da Rizosfera do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ e ao CIEP 155, onde estão minhas raízes profissionais como pesquisador e professor.

Aos professores da época de graduação pelos conselhos profissionais e ensinamentos, em especial o Jorge Jacob, Daniel Carvalho, Alberto Pardossi, João Carlos Santos Silva, Leonardo Medici; Jorge Pimenta; Carlos Rodrigues Pereira; Alexandre Ravelli, Claudinei Fonseca Souza, Rosana Giacomini, Pasqualina Leonardis, Angela Zinnai, Francesca Venturi, Alessandro Saviozzi, Alberto Grainfenberg, Lucia Natali, Damiano Remorini, Rosano Massai, Pier

Megale, Ivan Solinas, Guido Ferruzzi, Adriana Venceslau, Vanessa Holanda e Luis César Passoni.

Ao pessoal da UFRRJ, UENF e UNIPI pela torcida: Cida Dias, Marcio Lopes, Ana Cristina, Mariena Castro, Armando, Alessandra, Robson, Fabiana Almeida e Brenno Astiarraga.

Ao Prof. Antonio Bianchi pelos grandes ensinamentos da língua inglesa.

Ao Danilo Reis Gonçalves pela paciência e ajuda com o inglês.

A Lita, Louis e Barbara Esteves pela amizade e conversas construtivas.

Ao 513 e a república Caverna do Dragão pelas boas risadas, ensinamentos, coragem, convivência, paciência e amizade: Patusso Mariano, Deivisson Barbosa, Danilo Braga, Cayrê Serafim, Carlos Moura, Allan Felipe, Erick Martuscelli, Sylvio Negler, Helder Lacerda, Julio Coelho, Thiago Batista, Alexandre Marcondes, Jean Fausto e Vinícius Rodrigues.

Aos companheiros de graduação pelas risadas, ensinamentos, conversas e viagens: Juliana Pereira, Natalia Frasson, Nara Fontes, Febiano Melo, Caroline Figueiredo, Ricardo Parlow, Samuel José e Vanessa Guimarães.

Aos professores das escolas que estudei ao longo da educação básica, pela paciência e ensinamentos de cidadania e vida: Escola Municipal Goiás, Centro Municipal de Ensino Roberto Silveira e Colégio Agrícola Nilo Peçanha.

Aos grandes professores da época do vestibular, exemplos para a Educação Brasileira, pela paciência e grandes ensinamentos: Cristiane, Fabiane Albuquerque, Tiago Capobianco, Thiago Novaes, Jackelline Marques, Rosana Goz, Alexandre, Deize Mara e Cirlene Sanson.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela verdadeira lição de vida, local onde vivi Gênesis 41.52 “chamou Efraim; porque disse: Deus me fez crescer na terra da minha aflição.”

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

No mais, meus sinceros agradecimentos e que Deus ilumine, guarde e abençoe todos vocês.

EPÍGRAFE

"É a vida desse meu olhar."

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Orégano	21
2.2 Manejo da irrigação	24
2.3 Produtividade da água.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização da área	31
3.2 Ensaios Experimentais	31
3.3 Sistema de irrigação.....	33
3.4 Solo	34
3.5 Calibração da TDR	35
3.6 Manejo da irrigação	36
3.7 Monitoramento Meteorológico	37
3.8 Cultivo do orégano em ambiente protegido	38
3.9 Produtividade da água.....	39
3.10 Análise Estatística	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Monitoramento Meteorológico	41
4.2 Produção da biomassa	42
4.3 Produção de óleo essencial.....	50
4.4 Produtividade da água.....	55
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS.....	63
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	81
ANEXOS	85

RESUMO

Respostas do orégano a diferentes potenciais matriciais da água no solo

Pouco ainda se sabe das respostas do orégano frente às condições brasileiras de cultivo agrícola. Esta dissertação tem por objetivo verificar as respostas do orégano em produção de biomassa e óleo essencial frente ao déficit hídrico ocasionado por diferentes potenciais matriciais da água no solo. Em casa de vegetação, foram realizados dois experimentos em vasos de 15 L. O primeiro ensaio foi realizado na primavera/verão de 2014/2015 e o segundo ensaio no outono/inverno de 2015, em um delineamento em blocos casualizados em fatorial $4 \times 3 + 1$ composto por quatro potenciais mátricos da água no solo (-60,8; -91,2; -121,2 e -152,0 kPa) adotados em três fases do cultivo (ciclo todo, fase vegetativa e fase de pré-florescimento) e o tratamento adicional (-19,7 kPa equivalente a capacidade de campo), com 6 repetições, totalizando 78 parcelas. Aos 96 dias após o transplante das mudas foram realizadas as colheitas e a avaliação das plantas cultivadas, por meio da determinação da biomassa fresca e seca, teor e rendimento de óleo essencial e produtividade da água em função da biomassa seca e óleo essencial. O potencial mátrico -60,8 kPa adotado no manejo da irrigação durante todo o cultivo do orégano resultou no maior teor e rendimento de óleo essencial, já o potencial mátrico -91,2 kPa adotado no manejo da irrigação durante o pré-florescimento do orégano resultou na melhor média de biomassa seca. O potencial mátrico -60,8 kPa adotado no manejo da irrigação durante o pré-florescimento do orégano resultou na melhor média de biomassa fresca. A maior produtividade da água em função do óleo essencial foi alcançada manejando a irrigação do orégano a -60,8 kPa durante todo ciclo de cultivo, a maior produtividade da água em função da biomassa seca foi obtida manejando a irrigação do orégano a -91,2 kPa durante todo ciclo de cultivo. A melhor estação sazonal para cultivo do orégano tendo por foco a extração de óleo essencial foi à primavera/verão e ambas estações sazonais são recomendadas para o cultivo do orégano tendo por foco a produção de biomassa seca e fresca.

Palavras-chave: Óleo essencial; Biomassa; Cultivo Protegido; Propriedades Dielétricas; Gotejamento

ABSTRACT

Oregano responses to different water matric potentials in the soil

Little is known about the responses of oregano against the Brazilian conditions of agricultural cultivation. This dissertation aims to verify the oregano responses in biomass and essential oil production against water deficit caused by different matric potentials of water in the soil. At the greenhouse, two experiments were conducted in 15L pots. The first trial was conducted in the spring / summer 2014/2015 and the second during the autumn / winter 2015, in a randomized block design in a factorial $4 \times 3 + 1$ consisting of four potential matric of water in the soil (-60, 8; -91.2; -121.2 and -152.0 kPa) adopted in three different stages of cultivation (the whole cycle, vegetative phase and pre-flowering) and the additional treatment (-19.7 kPa equivalent to the field capacity), with 6 repetitions, totaling 78 plots. At 96 days after transplanting the seedlings, plants were harvested and evaluated by determining the weight of fresh and dried biomass, content and yield of essential oil and water productivity according to the dried biomass and essential oil. The matric potential of -60.8 kPa adopted in the management of irrigation throughout the oregano cultivation resulted in higher content and essential oil yield, while the matric potential of -91.2 kPa adopted in the management of irrigation during the pre-flowering oregano resulted in the best average of dry biomass. The matric potential of -60.8 kPa adopted in the management of irrigation during the oregano pre-flowering resulted in a better fresh biomass average. The highest yield of water in function of essential oil was achieved during oregano irrigation with -60.8 kPa throughout the growing season while the highest water productivity in function of dry biomass was obtained managing oregano irrigation to -91.2 kPa throughout the crop cycle. The best season for seasonal oregano cultivation focusing on essential oil extraction was the spring / summer and both seasonal stations are recommended for oregano cultivation focusing on the production of fresh and dry biomass.

Keywords: Essential Oil; Biomass; Greenhouse Production; Dielectric Properties; Drip Irrigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui do experimento	32
Figura 2 – Visão longitudinal (a) e transversal (b) da disposição dos emissores com microtubos nas parcelas de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	34
Figura 3 – Planta de <i>Origanum vulgare</i> L. no ponto de colheita (a) e suas respectivas flores abertas (b), Piracicaba-SP, Brasil.....	39
Figura 4 - Monitoramento meteorológico do interior da casa de vegetação durante o experimento primavera/verão em 2014/2015	41
Figura 5 - Monitoramento meteorológico do interior da casa de vegetação durante o experimento outono/inverno em 2015	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos no esquema fatorial 4 x 3 + 1 para o experimento com <i>Origanum vulgare</i> L.....	32
Tabela 2 – Início e fim das fases fenológicas do <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.	32
Tabela 3 – Caracterização física do Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil.....	35
Tabela 4 – Caracterização química do Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil.....	35
Tabela 5 – Potenciais mátricos e suas respectivas constantes dielétricas da água no solo em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP	37
Tabela 6 – Teste F de Snedecor para a biomassa de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	43
Tabela 7 - Biomassa fresca (g) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	44
Tabela 8 – Biomassa seca (g) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	45
Tabela 9 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para biomassa seca (g) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil ..	47
Tabela 10 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para biomassa fresca (g) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	47
Tabela 11 – Lâmina líquida total aplicada por tratamento no cultivo de <i>Origanum vulgare</i> L. em ambiente protegido, Piracicaba-SP, Brasil.....	49
Tabela 12 – Intervalo de eventos de irrigação por potencial mátrico da água no solo no cultivo de <i>Origanum vulgare</i> L. em ambiente protegido, Piracicaba-SP, Brasil	49
Tabela 13 – Teor de óleo essencial (%) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	50
Tabela 14 – Rendimento de óleo essencial (mg planta ⁻¹) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	50
Tabela 15 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para teor de óleo essencial (%) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	53

Tabela 16 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para rendimento de óleo essencial (mg planta^{-1}) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	53
Tabela 17 – Produtividade da água em função do óleo essencial de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba- SP, Brasil.....	55
Tabela 18 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para produtividade da água em função do óleo essencial ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	55
Tabela 19 – Teste F de Snedecor para a produtividade da água ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) em função da biomassa seca de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	57
Tabela 20 – Produtividade da água em função da biomassa seca ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil	58
Tabela 21 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para produtividade da água em função da biomassa seca (PRA_{seca} - $\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) de <i>Origanum vulgare</i> L., Piracicaba-SP, Brasil.....	59

1 INTRODUÇÃO

As plantas condimentares são espécies agrônomicas com amplo potencial produtivo em toda a Terra, visto que apresentam uma extensa amplitude ecofisiológica. Os quimiótipos e especiarias produzidas pelas plantas condimentares podem apresentar diversas características físico-químicas e estas características podem estar em função da espécie botânica ou do ambiente de cultivo da planta condimentar.

O orégano é uma planta herbácea com potencial condimentar e medicinal. O gênero *Origanum* apresenta diversas espécies de orégano. Em alguns países o orégano é conhecido como manjerona e em outros, simplesmente como orégano. Na Europa Mediterrânea o orégano compõe a formulação de diversas comidas do cotidiano. Nos países do Oriente Médio e Ásia Oriental o orégano participa da composição dos alimentos, da síntese de fármacos e também na pesquisa em Microbiologia, como inibidor do crescimento de microrganismos.

Os produtos obtidos do orégano têm alto valor agregado e o manejo racional da irrigação pode potencializar a produção do óleo essencial e biomassa. O manejo da irrigação pode ser realizado por meio do potencial matricial da água no solo, o que pode permitir a economia hídrica no cultivo por meio da diminuição de eventos de irrigação ao longo do cultivo e propiciar um aumento quantitativo na produção de óleo essencial e biomassa do orégano. A irrigação é uma técnica agrônômica que visa atender às necessidades hídricas das plantas. Contudo, ainda se tem poucos detalhes em relação ao orégano, visto que a implantação e o manejo da irrigação em um cultivo muitas das vezes são dependentes da disponibilidade de água e recursos financeiros.

O orégano tem sido tema central de investigações científicas principalmente no campo da nutrição mineral de plantas e na síntese de fármacos, contudo não são encontrados na literatura estudos das respostas do orégano ao déficit hídrico e por ser uma planta originária de local com verão totalmente sem precipitação pluviométrica, há indícios que esta espécie condimentar suporta altos índices de déficit hídrico no solo.

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar as respostas da produção de biomassa e óleo essencial do orégano em diferentes condições de disponibilidade de água no solo, tendo em vista o estabelecimento do potencial

matricial da água no solo ótimo para o manejo da irrigação do orégano em ambiente protegido, estimar a produtividade da água na produção de orégano sob déficit hídrico em ambiente protegido em Piracicaba – SP e verificar a melhor época sazonal de produção do orégano.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Orégano

De acordo com a Resolução da ANVISA nº 276 de 22/09/2005 o orégano é uma especiaria utilizada na agregação de aroma aos alimentos, obtido por meio de desidratação de suas folhas colhidas na época do florescimento. Trata-se de um condimento utilizado principalmente como tempero de massas na culinária latino-anglo-americana e europeia (PARASKEVAKIS, 2015) e é uma das principais plantas medicinais cultivadas na Alemanha (HONERMEIER et al., 2013) e na Argentina (TORRES et al., 2012). Nos últimos anos o potencial oleaginoso do orégano tem sido explorado, sendo que a partir de processos químicos de extração é possível obter o óleo essencial do orégano, utilizado, por exemplo, na conservação de processados de carnes (LEE; LEE; SONG, 2015).

O orégano é condimento recém-cultivado no Brasil. Até o final do século XX esta especiaria era importada de países sul-americanos como o Peru e o Chile (CHIRINOS, 2009). A produção brasileira de orégano começou depois da percepção da alta demanda do tempero na gastronomia brasileira e os altos preços pagos nas importações. De acordo com o Censo Agropecuário de 2006 as maiores unidades produtoras de orégano estão nos Estados Paulista, Gaúcho, Sul-matogrossense, Catarinense e Fluminense. Ao todo o Brasil produziu em 2006, 37 toneladas de orégano, sendo 68% desta produção obtida em terras arrendadas. O orégano é um produto agrícola comercializado em todos os tipos de supermercados no Brasil e 1 quilograma do condimento custam aproximadamente R\$ 700,00 (cotação estabelecida com base nos preços dos supermercados paulistas em meados do mês de setembro de 2015). Já 1 quilograma do óleo essencial foi cotado no mercado europeu por 6000 € no biênio 2014/2015 (DO et al., 2015).

Hoje um dos grandes temas abordados pela publicidade mundial são a preservação e a conservação ambiental. As indústrias de cosméticos em grande maioria são aquelas que exploram os recursos naturais de tal modo que suas matérias primas em grande parte são dependentes da biossíntese vegetal. Os óleos essenciais produzidos pelas plantas são grande alvo destas empresas e recentemente também das empresas farmacêuticas, tendo em vista que as plantas

condimentares, em sua grande maioria também apresentam aptidões aromáticas e/ou medicinais (DO et al., 2015 e RAUT; KARUPPAYIL, 2014).

Estudos realizados desde o início do século XXI constataram que o óleo essencial do orégano inibe o crescimento de microrganismos patogênicos em alimentos, por exemplo, *Salmonella choleraesius*, *Cladosporium sphaerospermum* e *Mucor racemosus* (SOUZA; STAMFORD; LIMA, 2006; CHAVES-LOPEZ; MARTIN-SANCHEZ; FUENTES-ZARAGOZA, 2012) e ainda inibe o crescimento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* que contaminam uvas de mesa na fase de pós-colheita (SIVAKUMAR; BAUTISTA-BÃNOS, 2014). Já o extrato do orégano apresenta propriedades medicinais contra células cancerígenas da mama e cólon (GUVENALP; TURAN; SUMER, 2010 e SAVINI et al., 2009), contra o agente etiológico da febre amarela (MENESES et al., 2009) e ainda contra a diabete de melitus (LEMHADRI; ZEGGWAGH; MAGHRANI, 2004).

Existem relatos na literatura científica que as algas, fungos, plantas inferiores (briófitas e pteridófitas) e plantas superiores (gimnospermas e angiospermas) podem produzir óleo essencial, isto devido à evolução destes seres vivos na Terra, sendo o óleo essencial um comunicador químico dentro do Reino Vegetal e uma arma química contra o Reino Animal ou às adversidades ambientais (GOTTLIEB E SALATINO, 1987).

Óleo essencial pode ser definido como uma mistura heterogênea de natureza orgânica sintetizada por algum ser vivo (GOTTLIEB E SALATINO, 1987). O óleo essencial do orégano é composto majoritariamente por carvacrol (57,7%), para-cimeno (10,9%), gama-terpineno (7,2%) e timol (3,8%) (GUIDI E LANDI, 2014). Estes compostos apresentam cadeia carbônica mista e possibilitam reações químicas de diversos mecanismos, ou seja, são compostos químicos fáceis de trabalhar em reações orgânicas (CLAYDEN; GREEVES; WARREN, 2012).

A biossíntese de óleo essencial nas plantas condimentares, aromáticas e medicinais é regida pelo metabolismo secundário (HADACEK, 2002). O metabolismo secundário é definido pela ocorrência de reações bioquímicas em resposta à interação com o ambiente de cultivo, já o metabolismo primário corresponde às reações bioquímicas referentes ao crescimento e desenvolvimento da planta em si (HARTMANN, 1996).

Os tricomas e os pêlos glandulares das folhas do orégano são as estruturas envolvidas na biossíntese do seu óleo essencial. As reações bioquímicas do metabolismo secundário ocorrem no tricoma glandular, estas reações são exotérmicas e dependentes da luz e do oxigênio (BURMEISTER; GUTTENBERG, 1960).

Por meio da ação das enzimas limoneno ciclase, limoneno hidroxilase e *trans*-carveol dihidrogenase, as moléculas de pirofosfatogeraniol são convertidas a carvacrol (GERSHENZON; MAFFEI; CROTEAU, 1989). Ao final da biossíntese o óleo é translocado para os pêlos glandulares e ali são armazenados (GOTTLIEB E SALATINO, 1987).

O orégano (*Origanum vulgare* L.) é uma planta C3, alógama, angiosperma, pertencente à família Lamiaceae e originária do litoral nordeste do Mar Mediterrâneo. Sua morfologia externa é caracterizada por folhas pequenas, pecioladas e verdes escuras, sendo uma planta lenhosa de porte pequeno e ciclo perene com aptidão condimentar (BAFANA, 2013). A cultura do orégano tem seu ciclo dividido em cinco fases fenológicas, sendo elas: brotação (25 dias), crescimento vegetativo (60 dias), ramificação floral (35 dias), floração (15 dias), maturação (30 dias). Desenvolve-se bem em solos com textura areno-argilosa ou mais fina em localidades cuja altitude varia de 0 a 1110 metros (DARDIOTI et al., 2012 e LUKAS et al., 2010).

A propagação vegetativa do orégano é justificada pelo fato da planta ser alógama e fazendo a estaquia evita-se a segregação de genes ao longo do ciclo de produção (AZIZI; YAN; HONERMEIER, 2009). A fase de crescimento vegetativo é caracterizada pela formação das folhas e acúmulo de massa verde. A ramificação floral é o principal estágio fenológico do orégano, pois é a fase que ocorre a biossíntese do óleo, um dos produtos comerciais da lamiácea. Em cultivos econômicos não é visto o efetivo acontecimento da maturação, pois as folhas são colhidas para processamento assim que as flores se abrem (KARAMANOS; SOTIROPOULOU, 2013).

O orégano tem uma baixa exigência nutricional para atender seus processos fisiológicos. Diversos estudos já foram realizados e já constataram que os macronutrientes, em especial o nitrogênio, potássio e fósforo, presentes no solo podem potencializar a produção de biomassa e biossíntese de óleo essencial.

O solo de cultivo do orégano deve apresentar pH 6,0 (ECONOMAKIS et al., 2002) e de acordo com Lopez e Arias (2009) a planta demanda cerca de 125 kg de K_2O e P_2O_5 ha^{-1} e 180 kg de N ha^{-1} , baseado no método da extração de nutrientes.

Omer (1999) verificou que o orégano apresenta resposta significativa à adubação nitrogenada, o pesquisador observou que as plantas adubadas com 20 gramas de $(NH_4)_2SO_4$ apresentaram melhor produção de biomassa que aquelas adubadas com 40 gramas de $(NH_4)_2SO_4$ por planta. O autor ressalta que os melhores índices de teor de óleo essencial foram obtidos a partir da dose igual a 10 gramas por planta de sulfato de amônio.

Karamanos e Sotiropoulou (2013) recomendam adotar a dose igual a 80 kg de N ha^{-1} no cultivo de orégano na Grécia, tendo em vista que os mesmos obtiveram os melhores índices de rendimento de óleo essencial a partir desta dose de nitrogênio. O mesmo foi concluído por Barreyro, Ringuelet e Agrícola (2005) na Argentina, os professores observaram que as plantas apresentaram as melhores médias de biomassa fresca. Ozguven, Ayanoglu e Ozel (2006) constataram que a adubação do orégano feita com 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de nitrogênio resulta nas melhores médias de teor de óleo essencial e biomassa seca.

Estudos realizados por Economakis et al. (2002) em Atenas na Grécia indicam que o melhor índice de teor de óleo essencial de orégano foi obtido a partir de plantas cuja dosagem aplicada de adubo foi igual a 5,4 gramas de P_2O_5 por planta. Economakis (1993) verificou as respostas do orégano hidropônico a diferentes doses de potássio na solução nutritiva e a menor dose avaliada, 150 mg de K_2SO_4 por litro de solução nutritiva, resultou no melhor índice de teor de óleo essencial e na maior média de biomassa seca.

2.2 Manejo da irrigação

O objetivo principal da agricultura irrigada é o fornecimento de água às plantas no momento adequado e na quantidade necessária, principalmente no cultivo de plantas condimentares em ambiente protegido, onde variações no conteúdo de água no solo podem afetar o desenvolvimento vegetativo,

acarretando diminuição da qualidade e produtividade da biomassa e óleo essencial (GUIDI; LANDI, 2014).

De modo geral existem três maneiras de manejar a irrigação de um cultivo, a primeira é com base nas informações emitidas pela planta, ou seja, a partir de dados, por exemplo, de fluxo de seiva, temperatura foliar, dendrometria ou pressão de turgescência foliar, contudo estas técnicas são de alto custo e ainda demandam mais estudos para serem utilizadas em larga escala no campo (ESTEVES et al., 2015; JONES, 2004).

A segunda maneira é manejo da irrigação feito via clima. Esta metodologia tem por fundamento o monitoramento da evapotranspiração da planta cultivada por meio de métodos micrometeorológicos modelados para utilização em toda a Terra, por exemplo, Penman-Monteith-FAO ou ainda em biomas específicos, por exemplo, em regiões semiáridas é indicado o uso do método de Hargreaves- Samani. Vale enfatizar que o manejo da irrigação via clima é dependente da instrumentação meteorológica no local de cultivo ou ainda na cidade de cultivo, ou seja, é necessário capital financeiro para investir na aquisição de uma estação meteorológica ou a cidade onde é realizado o cultivo deve ter uma estação meteorológica em pleno funcionamento e com a devida gestão dos dados meteorológicos registrados (TANASIJEVIC et al., 2014).

A terceira maneira é o manejo da irrigação via solo, fundamentado no monitoramento do conteúdo e a da disponibilidade de água no solo (DABACH et al., 2016). A quantificação de água no solo é feita por meio da medida da umidade volumétrica. Esta medida é caracterizada pela mensuração do volume de água presente em uma dada unidade de volume de solo e feita inicialmente a partir da umidade gravimétrica. A umidade gravimétrica é a razão da diferença de massa úmida e seca pela massa seca. Assim a umidade volumétrica é o produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo (UHLAND, 1951).

Por meio da quantificação da água no solo é possível estabelecer a disponibilidade total de água no solo (DTA) e a partir deste parâmetro é possível planejar o manejo da irrigação. A DTA é definida como a água disponível entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A capacidade de campo do solo é a umidade volumétrica correspondente à quantidade de água retida no solo contra a força da gravidade e o ponto de murcha permanente é a umidade volumétrica correspondente à quantidade de água retida no solo por meio da

resultante da força de coesão exercida pelas partículas do solo e as forças de sucção exercida pelas raízes das plantas (GHANBARIAN-ALAVIJEH et al., 2010).

Na Terra existem diversos tipos de solos e esta diversidade pedológica pode ser constatada ao caracterizar fisicamente, por exemplo, os solos de uma cidade (LEPSCH, 2002). A textura do solo é o principal fator que influencia a capacidade de retenção de água no solo que por sua vez influencia a disponibilidade de água no solo (GHANBARIAN-ALAVIJEH et al., 2010).

Mundialmente o modelo matemático utilizado no monitoramento do conteúdo de água no solo por meio da capacidade de retenção de água no solo é o modelo proposto por van Genuchten (1980). A equação de van Genuchten tem por princípio físico a estimativa da umidade volumétrica do solo em função do potencial matricial da água no solo considerando as umidades volumétricas de saturação e residual por meio de uma equação exponencial.

O potencial matricial da água no solo (Ψ_m) é o determinante do potencial da água no solo de cultivos irrigados, pois fisicamente esta variável é a força resultante da atração elétrica da adsorção de água pelas partículas do solo. Um adequado manejo da irrigação com uso do déficit hídrico pode ser estabelecido com base no monitoramento do conteúdo de água no solo por meio do potencial matricial da água no solo (LÉTOURNEAU et al., 2015; WHALLEY; OBER; JENKINS, 2013;).

Diferentes técnicas têm sido utilizadas no monitoramento do conteúdo de água no solo, destacando-se, por exemplo, a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (GOMES et al., 2014). O uso da TDR e de sensores ou acionadores para indicar o momento propício de irrigação tem se mostrado viável e de alta praticidade (BATISTA et al., 2013).

A TDR exige calibração prévia para cada tipo de solo; apresenta como vantagens a precisão e rapidez das leituras, a não utilização de radiação ionizante, a possibilidade de automação e ainda pode monitorar a umidade volumétrica do solo desde a saturação até o ponto de murcha permanente, diferentemente dos tensiômetros que medem potenciais matriciais até 100 kPa (NOBORIO, 2001; JONES, 2004 e VISCONTI et al., 2014).

O déficit hídrico no solo pode ser monitorado diretamente por meio da reflectometria no domínio do tempo (TDR), pois determinando diretamente a umidade volumétrica atual do solo em função da constante dielétrica da água no

solo por meio da equação de calibração da TDR, é possível saber o potencial matricial atual da água no solo por meio da curva de retenção da água no solo utilizando a equação de van Genuchten e assim quantificar a dose de rega a ser aplicada no cultivo agrícola por meio da irrigação.

2.3 Produtividade da água

Atualmente a questão do uso da água na irrigação tem estado presente em praticamente todos os trabalhos de engenharia de água e solo no mundo. No que tange ao uso e aplicação da água em irrigação, tem-se buscado alcançar a otimização do uso da água, por exemplo, uso da irrigação com déficit, maior exploração do armazenamento de água no solo e diminuição das perdas de água por evaporação com a utilização de cobertura morta no solo (BEKHRADI et al., 2015; FOLEY et al., 2011; GOMES et al., 2014; MAN et al., 2015).

Um dos celeiros da agricultura brasileira é o Estado Paulista, haja vista que é o maior produtor nacional de orégano. O Estado de São Paulo tem passado por uma séria escassez hídrica, tendo em vista que o regime de precipitação pluviométrica mudou bruscamente e as fontes de água para abastecimento dos campos agrícolas estão com estoque reduzido.

Diante dos fatos expostos se faz necessário repensar as técnicas de manejo da irrigação de tal modo que não comprometa a produção agrícola e ainda mantenha os reservatórios de água estáveis até a normalização do regime pluviométrico. Uma das maneiras de quantificar o uso da água e traçar soluções que melhorem e otimizem o uso da água é a partir da determinação do índice de produtividade da água. A produtividade da água pode ser definida como o indicador referente à produção comercial de um cultivo em função do volume de água de irrigação utilizado ao longo de todo o ciclo de cultivo (PLAYÁN; MATEOS, 2006).

A produtividade da água é confundida comumente com a eficiência do uso da água, esta última é definida também como indicador referente à produção comercial em função do volume de água utilizado ao longo de todo ciclo de cultivo, mas este volume de água compreende a soma da água utilizada na irrigação, a precipitação pluviométrica, a percolação, o runoff e a ascensão capilar (VAZIFEDOUST et al., 2008).

Por meio dos índices de produtividade da água é possível encontrar soluções práticas que aprimorem a sustentabilidade da produção agrícola no atual cenário de mudanças climáticas, por exemplo, melhor desempenho do genótipo cultivado, melhor uso da terra e economia de energia (LIU et al., 2013).

A produtividade da água tem influência de diversos fatores agronômicos e econômicos (MATEOS; ARAUS, 2016). Previamente à determinação da produtividade da água deve-se ter em mente a exigência hídrica da cultura irrigada, tendo em vista que plantas C4 e CAM apresentam mecanismos fisiológicos que viabilizam o melhor uso da água e nutrientes devido ao mecanismo concentrador de CO₂ e abertura diferenciada dos estômatos durante o dia cronológico (COWLING, 2013).

Vale enfatizar que atualmente o melhoramento genético visa produzir cultivares com resistência a seca e ainda com sistema radicular bem desenvolvido de tal modo que os horizontes subsuperficiais do solo sejam mais bem explorados na absorção de água e nutrientes (MAN et al., 2015). Na Espanha, pesquisadores constataram que é possível produzir plantas condimentares melhoradas geneticamente sob irrigação deficitária, pois estas plantas submetidas ao déficit hídrico não apresentaram redução significativa de rendimento de óleo essencial e ainda observaram o aumento da concentração de antioxidante no óleo ao comparar com plantas produzidas sob irrigação plena (BEKHRADI et al., 2015).

O manejo do solo é outro fator que influencia na determinação da produtividade da água. Plantas bem nutridas apresentam uma morfologia desenvolvida de tal modo que cobrem melhor a superfície do solo e assim diminuem a evaporação da água no solo, ou seja, a manutenção do conteúdo de água no solo pode, por exemplo, diminuir a lâmina de irrigação ou o número de eventos de irrigação (GOMES et al., 2014). Vale ressaltar que é necessário o monitoramento constante do conteúdo de água no solo do cultivo agrícola de tal modo que a lâmina de irrigação seja calculada corretamente e assim evite a aplicação de água em excesso (GADANAKIS et al., 2015).

A presença da matéria orgânica no solo também melhora a produtividade da água, pois devido às suas características hidrofílicas juntamente com a textura do solo, aumenta a capacidade de retenção de água no solo (VOGELMANN et al., 2015). No Irã, pesquisadores concluíram que a irrigação sob déficit hídrico associada com o manejo racional da adubação do solo possibilita

maior rendimento na produção de óleos essenciais das plantas medicinais (JESHNI et al., 2015).

Investimentos financeiros em infra-estrutura de sistemas de irrigação melhoram os índices de produtividade da água, pois sistemas de irrigação que apresentam uma infraestrutura que permita a condução da água sem vazamentos, melhoram a uniformidade da irrigação e ainda diminuem custos com energia e água (MATEOS; ARAUS, 2016).

A partir disto, diversos países têm buscado inovar suas técnicas de produção agrícola irrigada de tal modo que com economia hídrica seja alcançado o máximo de produção (WEST et al., 2014). Na Índia, por exemplo, mais de 80% dos recursos hídricos são utilizados na irrigação, todavia os sistemas de irrigação dos indianos apresentam uma baixa eficiência de uso da água, 30-35% (BHALAGE; JADIA; SANGALE, 2015).

A maioria os sistemas de irrigação na Índia são por superfície e a manutenção dos canais de abastecimento não é feita do devido modo. Em virtude da baixa capacidade produtiva das lavouras agrícolas e a forte demanda de alimentos pela população, o governo, em parceria com os agricultores, iniciou reformas nos canais de abastecimento de água e construção de pequenas centrais de reserva de água por localidade de produção de tal modo que a perda de água fosse diminuída ao longo do percurso de abastecimento (BHALAGE; JADIA; SANGALE, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

Dois experimentos foram conduzidos em ambiente protegido no Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) da Universidade de São Paulo (USP) *Campus* Piracicaba (22°42'40"S; 47°37'46"W; altitude de 550 metros).

O primeiro experimento foi conduzido entre os dias 06/11/2014 e 09/02/2015 (primavera/verão) e o segundo experimento foi conduzido entre os dias 14/05/2015 e 17/08/2015 (outono/inverno).

Destinou-se uma área de 20 m² (4 x 5 metros) para a implantação do experimento em uma casa de vegetação do tipo arco com 7,0 m de largura por 22,5 m de comprimento e 3 m de altura. O teto da casa de vegetação é revestido por tela de polietileno de 150 micras tratado contra ação de raios ultravioleta e as paredes são compostas de telas anti-afídeos.

3.2 Ensaios Experimentais

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em fatorial 4 x 3 + 1. Cada tratamento foi composto por 6 repetições totalizando 78 parcelas (Figura 1 e Tabela 1).

O fatorial foi composto por quatro potenciais matriciais da água no solo (-60,8; -91,2; -121,2 e -152,0 kPa) adotados como referência no manejo da irrigação via solo em três fases do cultivo (ciclo todo, fase vegetativa e fase de pré-florescimento) (MATRAKA et al., 2010 e CHAUHAN et al., 2013). O tratamento adicional (-19,7 kPa) foi executado ao longo de todo ciclo de cultivo do orégano, pois é o potencial matricial correspondente a capacidade de campo do solo utilizado no experimento. As fases de cultivo foram delimitadas da seguinte forma: ciclo todo compreende desde o transplântio da muda até a colheita do orégano; a fase vegetativa representa desde o transplântio da muda no vaso até a emissão do primeiro ramo floral na planta e a fase pré-florescimento é caracterizada pela emissão do ramo floral até a completa abertura da flor (Tabela 2) (DAVIDENCO et al., 2015).

Figura 1 – Croqui do experimento

Tabela 1 - Tratamentos no esquema fatorial 4 x 3 + 1 para o experimento com *Origanum vulgare* L.

Tratamentos	Potencial matricial da água no solo (ψ_m - kPa)
T1	potencial matricial de -19,7 kPa aplicado em ciclo total
T2	potencial matricial de -60,8 kPa aplicado em ciclo total
T3	potencial matricial de -60,8 kPa aplicado apenas no período vegetativo, restante do ciclo potencial matricial de -19,7 kPa
T4	potencial matricial de -60,8 kPa aplicado apenas no período de pré-florescimento, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T5	potencial matricial de -91,2 kPa aplicada em ciclo total
T6	potencial matricial de -91,2 kPa aplicado apenas no período vegetativo, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T7	potencial matricial de -91,2 kPa aplicado apenas no período de pré-florescimento, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T8	potencial matricial de -121,2 kPa aplicado em ciclo total
T9	potencial matricial de -121,2 kPa aplicado apenas no período vegetativo, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T10	potencial matricial de -121,2 kPa aplicado apenas no período de pré-florescimento, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T11	potencial matricial de -152,0 kPa aplicado em ciclo total
T12	potencial matricial de -152,0 kPa aplicado apenas no período vegetativo, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa
T13	potencial matricial de -152,0 kPa aplicado apenas no período de pré-florescimento, restante do ciclo potencial matricial -19,7 kPa

Tabela 2 – Início e fim das fases fenológicas do *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil.

--	primavera/verão			outono/inverno		
	06/11/2014 a 09/02/2015			14/05/2015 a 17/08/2015		
Estádio fenológico	Início	Fim	Dias	Início	Fim	Dias
fase vegetativa	07/11/2014	01/01/2015	56	15/05/2015	12/07/2015	59
pré-florescimento	02/01/2015	08/02/2015	38	13/07/2015	16/08/2015	35

Cada parcela correspondeu a um vaso tronco-cônico com uma planta. O vaso possuía as seguintes dimensões: 0,240 m de altura, 0,250 m de geratriz, diâmetro superior igual a 0,285 m e diâmetro inferior igual a 0,210 m, totalizando 12 litros de volume.

3.3 Sistema de irrigação

Foi adotado um sistema de irrigação localizada por gotejamento cujos emissores (Naan Daan Jain Taper lock outlet 2,0 kgf cm⁻²) com vazão nominal de 2 L h⁻¹. As linhas laterais e de derivação do sistema foram compostas por mangueira de polietileno DN 13 mm, já a linha principal do sistema instalada com tubulação de policloreto de vinila (PVC) DN 19 mm.

O reservatório de água do experimento possuía capacidade de 250 litros e foi instalado dentro da casa de vegetação a 3 metros abaixo do reservatório central de água do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

O sistema de irrigação possuía um conjunto moto-bomba (KSB Hydrobloc 1 cv 3450 rpm). Na sucção e recalque do conjunto moto bomba foi utilizada uma tubulação de PVC DN 25 mm, assim como na condução da água do reservatório central até a casa de vegetação. Ao final do recalque do conjunto moto-bomba foi instalado um filtro de polipropileno DN 40 mm com tela inox e sistema de tampa de rosca.

A variabilidade espacial da umidade volumétrica nos vasos foi minimizada por meio de um par microtubos (diâmetro interno 4 mm) acoplado em cada emissor, de tal modo que a muda do orégano ficasse localizada entre o par de pontos de emissão de água (Figura 2).

No início de cada linha de derivação foram instalados registros de esfera visando permitir que os tratamentos fossem irrigados independentemente. A pressão de serviço adotada no funcionamento do sistema de irrigação foi igual a 156,9 kPa sendo monitorada com manômetro de glicerina.

Antes do início dos experimentos o sistema de irrigação foi submetido a um teste de uniformidade para determinação do Coeficiente de Uniformidade Christiansen (CUC) e de Wilcox-Swales (CUE) e medição da vazão real dos

emissores (KUMAR et al., 2015) (ANEXO A). Os testes foram realizados, durante 6 minutos, coletando a água gotejada por todos os emissores do sistema de irrigação.

Figura 2 – Visão longitudinal (a) e transversal (b) da disposição dos emissores com microtubos nas parcelas de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil.

3.4 Solo

O solo utilizado nos experimentos é classificado no Brasil como Latossolo Vermelho eutrófico típico (EMBRAPA, 2013) e nos Estados Unidos da América como Typic Hapludox (THE UNITED STATES, 1999). O solo foi coletado em Piracicaba-SP (22°70'33"S; 47°62'41"W; altitude de 549 metros).

O preparo do solo consistiu na secagem ao ar livre, destorroamento e peneiramento manual em crivo de 3 mm. As análises físicas e químicas das amostras foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) e no Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo (LSO) da ESALQ/USP (Tabelas 3 e 4). O solo apresenta textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2011).

Foi realizada adubação inorgânica apenas no experimento realizado na primavera/verão. A prática foi realizada quinze dias antes do transplântio das estacas no vaso e utilizou-se KNO₃ e adubo formulado 0-18-0 (BERNÁTH, 1997). Devido as concentrações de nutrientes presentes no solo em 2015 não foi

necessária a prática de adubação no experimento realizado no outono/inverno (BERNÁTH, 1997; ECONOMAKIS, 1993; OMER, 1999).

Tabela 3 – Caracterização física do Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil

Profundidade	Argila	Silte	Areia	Densidade do solo	Densidade das partículas
cm		g kg ⁻¹			g cm ⁻³
0-20	134	85	781	1,49	2,51
Profundidade	Capacidade de campo	Ponto de murcha permanente	Macroporosidade	Microporosidade	
cm		cm ³ cm ⁻³			
0-20	0.245	0.099	0.312	0.076	

Tabela 4 – Caracterização química do Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil

Ano	Profundidade	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V
	cm	CaCl ₂	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
2014	0-20	5,7	28	23	2,7	23	8	< 1	28	33,7	55
2015		5,6	282	692	9,8	52	22	2	18	84,8	82
Ano	Profundidade	Matéria orgânica	Zn	B	Cu	Fe	Mn				
	cm	g dm ⁻³			mg dm ⁻³						
2014	0-20	19	1,8	0,19	1,0	36	8				
2015		21	44,5	0,47	1,1	42	22				

3.5 Calibração da TDR

O teor de água no solo foi monitorado por meio de um equipamento eletrônico (Field Scout TDR 100) cujo princípio de funcionamento é a reflectometria no domínio do tempo. O equipamento foi previamente calibrado nas condições de umidade volumétrica do solo por meio da constante dielétrica da água do solo (k_a). A cada leitura de k_a foi retirada uma amostra de solo deformada do vaso com uso de um trado de rosca para determinação da umidade volumétrica (UHLAND, 1951).

A equação de calibração para o solo foi obtida por meio de um ensaio experimental em casa de vegetação durante o período de 47 dias, constituído por três unidades amostrais de vasos de 15 litros com 20 kg de solo. Os valores de k_a e de umidade volumétrica foram submetidos a uma regressão linear para obtenção da equação de calibração, conforme Batista et al. (2013) (ANEXO B).

Nos mesmos vasos onde foi realizada a calibração da TDR foram coletadas ao todo 9 amostras indeformadas de terra para confecção da curva de retenção da água no solo de acordo com a metodologia descrita por van Genuchten (1980) (ANEXOS C e D).

3.6 Manejo da irrigação

A irrigação foi executada quando o conteúdo de água no solo dos vasos atingiu a umidade volumétrica correspondente ao potencial matricial do tratamento, tendo por meta fazer com que o solo atingisse a capacidade de campo (Ψ_m igual a -19,7 kPa), ao final do evento de irrigação.

Foram realizadas leituras diárias da constante dielétrica da água no solo (k_a) durante o experimento para o monitoramento do conteúdo de água no solo, utilizando a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (Field Scout TDR 100) (XU et al., 2007). As sondas eram portáteis e inseridas verticalmente nos vasos abrangendo toda camada de solo, 20 cm de profundidade.

Nas duas primeiras semanas do cultivo todos os tratamentos foram mantidos no potencial matricial da água no solo igual -19,7 kPa (capacidade de campo) visando garantir a aclimação das mudas e uniformizar as condições de umidade do solo. No décimo quinto dia após o transplântio das mudas foi iniciado o estresse hídrico nos tratamentos (BEKHRADI et al., 2015).

De posse dos valores de k_a foi possível obter o valor da umidade volumétrica atual do solo (eq.1). O potencial matricial atual da água no solo foi calculado com base na Equação 2 (van GENUTCHEN, 1980), tendo por variável independente o valor da umidade volumétrica atual determinada com uso da TDR.

$$\theta_{\text{atual}} = 0,0798208 k_a + 2,255078 \quad (1)$$

$$\theta_{\text{atual}} = 0,0780 + \frac{0,3520}{[1+(\Psi_m)^{1,5600}]^{0,5590}} \quad (2)$$

em que:

θ_{atual} = umidade volumétrica atual, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

k_a = constante dielétrica da água no solo, adimensional; e

Ψ_m = potencial matricial atual da água no solo; kPa.

Na Tabela 5 são apresentados os potenciais mátricos adotados no manejo da irrigação e os valores correspondentes de constante dielétrica da água no solo (k_a). Assim, por meio da leitura de k_a foi possível verificar se era necessário ou não irrigar.

Tabela 5 – Potenciais mátricos e suas respectivas constantes dielétricas da água no solo em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP

$ \Psi_m $ (kPa)	θ (cm ³ cm ⁻³)	k_a
19,7	0,2450	27,9
60,8	0,1671	18,1
91,2	0,1491	15,9
121,2	0,1386	14,5
152,0	0,1315	13,6

O tempo de irrigação foi calculado considerando os resultados do teste de CUC e da umidade volumétrica atual por meio das Equações 3 e 4 (BAHREININEJAD; RAZMJOO; MIRZA, 2013).

$$IRN = (\theta_{CC} - \theta_{atual}) p_{ef} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{IRN A}{E_a Q_{real}} \quad (4)$$

em que:

IRN = irrigação real necessária, mm;

θ_{CC} = umidade volumétrica em capacidade de campo, cm³ cm⁻³;

p_{ef} = profundidade efetiva das raízes, mm;

T_i = tempo de irrigação, horas;

A = área da superfície do vaso, m²;

E_a = eficiência de aplicação do sistema de irrigação, % e

Q_{real} = vazão real do emissor obtida no teste de uniformidade e vazão, L h⁻¹.

3.7 Monitoramento Meteorológico

Durante todo experimento foram monitoradas as variáveis meteorológicas (temperatura do ar e umidade relativa do ar), geradas a cada hora do dia. Estas variáveis foram registradas por um termohigrógrafo automático com

datalogger modelo HT 4000 Hiseg localizado no centro da casa de vegetação de acordo com a metodologia de Batista et al. (2013).

3.8 Cultivo do orégano em ambiente protegido

As estacas de orégano (*Origanum vulgare* L.) foram obtidas em matrizeiro catalogado e disponível no Horto de Plantas Medicinais “Walter Accorsi” do Departamento de Ciências Biológicas (LCB) da ESALQ. As mudas foram produzidas em casa de vegetação em bandejas de poliestireno expandido sendo o substrato constituído por solo argiloso peneirado (horizonte A moderado de um Nitossolo Vermelho), areia grossa e esterco bovino curtido (KASSAHUN et al., 2014). As mudas de orégano foram transplantadas aos 33 dias de idade. Cada vaso do experimento recebeu uma muda de orégano.

Diariamente foi realizado o *rouguing* dos cultivos. A prática consistiu no controle manual das plantas invasoras juntamente com o controle biológico do pulgão (*Aphis gossypii*) por meio de pulverizações matinais com calda de fumo 8% (POTERA, 2011).

As colheitas foram realizadas aos 96 dias após o transplântio das mudas (DAT) (Figura 3). As folhas e inflorescências foram colhidas manualmente, uma a uma, e embaladas em sacos de papel Kraft, para a secagem em estufa de ventilação forçada a 40 °C por 96 horas (ÖZGÜVEN et al., 2007; ECONOMAKIS, 1993). Antes e depois das secagens a biomassa foi submetida à pesagem em balança analítica para obtenção das massas fresca e seca da parte aérea (MSPA) e (MSPA), respectivamente.

As extrações do óleo essencial do orégano foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água da USP *Campus* Piracicaba por meio da hidrodestilação por arraste a vapor em Clevenger (ASENSIO; GROSSO; JULIANI, 2015; CLEVINGER, 1928; WASICKY, 1963).

Em um balão de volume igual a 2 litros foram adicionados 40 g da MSPA em 1500 mL de água destilada e em seguida a mistura foi submetida ao aquecimento por 90 minutos a 100 °C em manta térmica. Após extração do óleo e decantação da água remanescente a 4 °C por 48 horas, foi mensurada a massa de óleo essencial obtido (WASICKY, 1963). O teor de óleo essencial foi calculado por meio da razão da massa de óleo obtido e a massa seca da parte aérea

submetida à extração (D'ANTUONO et al., 2000; KAWASE et al., 2013; EL GENDY et al., 2015).

Figura 3 – Planta de *Origanum vulgare* L. no ponto de colheita (a) e suas respectivas flores abertas (b), Piracicaba-SP, Brasil.

3.9 Produtividade da água

A produtividade da água (PRA) na produção de orégano foi calculada por meio da razão entre a massa seca de condimento e/ou quantidade de óleo essencial extraído e a quantidade de água utilizada nos eventos de irrigação (lâmina líquida) (eq. 5 e eq. 6) (BAHREININEJAD; RAZMJOO; MIRZA, 2013; JAAFAR et al., 2015).

$$PRA_{\text{orégano}} = \frac{M_{\text{orégano}}}{M_{\text{água}}} 100 \quad (5)$$

$$PRA_{\text{óleo}} = \frac{M_{\text{óleo}}}{M_{\text{água}}} 100 \quad (6)$$

em que:

$PRA_{\text{orégano}}$ = produtividade da água da massa seca produzida, mg mm^{-1} ;

$PRA_{\text{óleo}}$ = produtividade da água do óleo essencial extraído, mg mm^{-1} ;

$M_{\text{água}}$ = lâmina líquida aplicada nos eventos de irrigação, mm;

$M_{\text{orégano}}$ = massa seca produzida de condimento, mg; e

$M_{\text{óleo}}$ = massa de óleo essencial extraído, mg.

3.10 Análise Estatística

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) para avaliação dos dados de biomassa, óleo essencial e produtividade da água e em caso de significância foi feito o Teste LSD em nível de 5% de significância para comparação entre as médias dos diferentes potenciais matriciais da água no solo e os três períodos fenológicos avaliados (BOX et al., 2005 e BREUSCH; PAGAN, 1979).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Monitoramento Meteorológico

Os valores de temperatura mínima registrados nos dois ciclos de cultivo do orégano se encaixam dentro da amplitude térmica requerida pela cultura, que corresponde a temperaturas entre 20°C e 35 °C (MIJANI et al., 2013). Todavia os valores de temperatura máxima registrados, principalmente na terceira semana de dezembro de 2014, extrapolaram o limite superior da amplitude térmica requerida pelo orégano. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os monitoramentos ao longo dos dias de cultivo do orégano em casa de vegetação.

Figura 4 - Monitoramento meteorológico do interior da casa de vegetação durante o experimento primavera/verão em 2014/2015

Figura 5 - Monitoramento meteorológico do interior da casa de vegetação durante o experimento outono/inverno em 2015

4.2 Produção da biomassa

No experimento realizado na primavera/verão o orégano apresentou resposta negativa ao déficit hídrico em relação à biomassa seca e fresca produzida em ambiente protegido. O tratamento controle apresentou maior média estatística ao ser comparado com os tratamentos de déficit hídrico. Já no experimento realizado no outono/inverno não foram observadas diferenças entre as médias de massa seca do tratamento controle com o fatorial (Tabela 6).

Plantas cultivadas sob irrigação plena, em geral, apresentam altos índices de produção de biomassa tendo em vista que solos irrigados possibilitam melhor solubilização de nutrientes, ou seja, a planta absorve com mais eficiência os nutrientes da solução do solo. Consequentemente desenvolve melhor sua estrutura radicular e assim pode investir na produção de biomassa por ter a sua disposição estoque de água no solo de tal modo que regule com mais eficácia sua temperatura interna, evite gastos energéticos com absorção de água de difícil disponibilidade no solo e aumente sua eficiência fotossintética (ABDELMAJEED et al., 2013; KHALIL; EL-NOEMANI, 2015).

Tabela 6 – Teste F de Snedecor para a biomassa de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão		
06/11/2014 a 09/02/2015		
--	massa fresca (g)	massa seca (g)
controle	71,04 A	17,03 A
tratamentos	43,17 B	10,43 B
coeficiente de variação (%)	14,14	16,12
outono/inverno		
14/05/2015 a 17/08/2015		
--	massa fresca (g)	massa seca (g)
controle	46,24 A	15,66 A
tratamentos	28,84 B	13,22 A
coeficiente de variação (%)	13,81	19,84

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste F de Snedecor ($p < 0,05$)

Os resultados obtidos concordam com os observados por Bettaieb et al. (2009) que pesquisaram os efeitos do estresse hídrico no cultivo protegido de *Salvia officinalis* em Hamman Lif na Tunísia e verificaram que as plantas cultivadas em parcelas cujo solo foi mantido na capacidade de campo apresentaram as melhores médias de biomassa seca e fresca.

Hassan et al. (2013) avaliaram os efeitos da irrigação deficitária no cultivo protegido de alecrim em Taif na Arábia Saudita e observaram que as plantas cuja irrigação foi manejada a 100% da capacidade de campo (tratamento controle) apresentaram maior média de biomassa seca. Farahani et al. (2009a), avaliando o desempenho da erva cidreira submetida ao déficit hídrico, observaram que as plantas cultivadas sob manejo da irrigação a 100% da capacidade de água disponível do solo apresentaram as maiores médias de biomassa fresca. Estes pesquisadores indicaram que o conforto hídrico no solo proporciona aumento do acúmulo de massa seca e fresca.

Em Munique na Alemanha, Manukyan (2011) avaliou o efeito do estresse hídrico no cultivo protegido de *Salvia officinalis* e o mesmo verificou que o maior valor de potencial mátrico da água no solo (-5 kPa) adotado no manejo da irrigação resultou na maior média de massa fresca devido ao conforto hídrico ocasionado pela alta frequência de eventos de irrigação.

Foi verificada ainda interação estatística entre o potencial matricial da água no solo e a fase fenológica do orégano. As plantas submetidas ao estresse hídrico no pré-florescimento sob potencial mátrico maior que -100 kPa

apresentaram as maiores médias de biomassa fresca em todos os experimentos realizados (Tabela 7).

Tabela 7 - Biomassa fresca (g) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão					
06/11/2014 a 09/02/2015					
Fase fenológica	Ψ _m (kPa)				média
	-152,0	-121,2	-91,2	-60,8	
pré-florescimento	55,41 B a	56,88 B a	61,88 A a	67,51 A a	60,42
ciclo todo	6,44 B b	6,88 B b	62,14 A a	61,05 A a	34,13
fase vegetativa	6,26 B b	6,79 B b	64,62 A a	62,18 A a	34,96
média	22,7	23,52	62,88	63,58	43,17
coeficiente de variação (%)	14,14				
outono/inverno					
14/05/2015 a 17/08/2015					
Fase fenológica	Ψ _m (kPa)				média
	-152,0	-121,2	-91,2	-60,8	
pré-florescimento	34,00 B a	35,93 B a	44,03 A a	46,34 A a	40,08
ciclo todo	11,07 C b	11,87 C b	26,02 B c	34,24 A b	20,8
fase vegetativa	11,97 C b	15,42 C b	31,19 B b	44,02 A a	25,65
média	19,01	21,07	33,75	41,53	28,84
coeficiente de variação (%)	13,81				

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna (Ψ_m) ou letras maiúsculas na linha (fase fenológica) diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

No cultivo realizado no outono/inverno a biomassa seca apresentou diferença significativa apenas em relação à fase fenológica do orégano, todavia no verão as melhores médias de biomassa seca foram obtidas em plantas cultivadas sob déficit hídrico no pré-florescimento sob potencial mátrico igual a -91,2 kPa (Tabela 8).

Du et al. (2015) a partir de seus estudos defendem que os efeitos do déficit hídrico estão em função do estágio fenológico de ocorrência, duração temporal e severidade do déficit. Azizi et al. (2009) em Rauischholzhausen na Alemanha pesquisaram os efeitos do estresse hídrico na produção de orégano e observaram que as plantas sob déficit hídrico no pré-florescimento apresentaram as melhores médias de biomassa. Baher et al. (2002), em Tehran no Irã, verificaram que a *Satureja hortensis* L. quando submetida ao déficit hídrico no pré-florescimento apresenta melhor produção de biomassa fresca e seca. Acredita-se que manejando a irrigação tendo por referência a manutenção do conteúdo de água no solo no nível da capacidade de campo durante a fase vegetativa, a planta investe no crescimento de raízes e folhas de tal modo que ela tem reservas

bioenergéticas que possibilitam resistir melhor ao estresse hídrico (OSAKABE et al., 2014).

Tabela 8 – Biomassa seca (g) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão				
06/11/2014 a 09/02/2015				
Ψ _m (kPa)	pré-florescimento	ciclo todo	fase	média
-152,2	13,45 B a	1,57 C b	1,80 C b	5,60
-121,2	13,97 A B a	1,69 C b	1,81 C b	5,82
-91,2	21,20 A B a	8,71 B c	15,37 A b	15,09
-60,8	15,88 A a	15,02 A a	14,72 B a	15,20
média	16,13	6,75	8,42	10,43
coeficiente de variação (%)		16,12		
outono/inverno				
14/05/2015 a 17/08/2015				
Ψ _m (kPa)	pré-florescimento	ciclo todo	fase	média
-152,0	16,36	10,01	14,21	13,53 A
-121,2	13,22	13,58	12,13	12,98 A
-91,2	15,66	11,91	12,02	13,19 A
-60,8	14,80	12,14	12,59	13,18 A
média	15,01 a	11,91 b	12,74 b	12,95
coeficiente de variação (%)		19,84		

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna (fase fenológica) ou letras maiúsculas na linha (Ψ_m) diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

É interessante notar as melhores médias de biomassa não foram obtidas a partir do menor ou maior potencial mátrico avaliados neste estudo. Possivelmente a frequência de irrigação resultante da adoção dos diferentes potenciais mátricos proporcionou um ciclo de umedecimento e secagem no solo que influenciou positivamente a dinâmica dos nutrientes, da fauna microbiana e das raízes no solo de modo que as sinalizações hormonais das raízes para a parte aérea, a mineralização da matéria orgânica e a absorção de nutrientes foram potencializadas positivamente (DODD et al., 2015).

Umas das principais respostas fisiológicas das plantas ao estresse hídrico são ajustes no acúmulo de biomassa de tal modo que o ciclo fenológico alcance o fim, ou seja, mediante a esta adversidade ambiental as plantas ajustam suas relações fonte-dreno de tal modo que o gasto energético com absorção de água seja minimizado e a alocação de nutrientes na estrutura vegetal atenda os processos bioquímicos e fisiológicos da planta ou ainda investem no enrijecimento da parede celular de modo que a pressão de turgescência das células seja

mantida e assim diminua a perda de água por transpiração (NEUMANN, 1995; SHAO et al., 2008).

Outra adaptação das plantas ao estresse hídrico é uma diminuição na emissão de folhas e redução da frequência de abertura dos estômatos de tal modo que a perda de água por evapotranspiração seja mínima. Todavia em consequência disto a absorção de CO₂ é minimizada, assim o acúmulo de massa é menor se comparado com plantas em ambientes sem escassez de água (CHAVES; OLIVEIRA, 2004; FAROOQ et al., 2009; SEGHATOLESLAMI et al., 2015).

Khalil e El-Noemani (2015) avaliaram o crescimento do orégano em função de diferentes fatores de depleção de água no solo (fator f) em Cairo no Egito. Os pesquisadores verificaram que as plantas cuja irrigação foi manejada tendo por referência fator f igual a 0,55 apresentaram melhores médias de biomassa seca e fresca. Os autores acreditam que a irrigação deficitária associada a outros tratamentos culturais pode promover ganho de biomassa.

Said-Al Ahl et al. (2009) avaliaram as respostas do orégano a diferentes fatores f em Dokki no Egito. As autoras observaram que as plantas que foram submetidas ao manejo da irrigação mantendo o solo a 80% da capacidade de água disponível apresentaram as maiores médias de biomassa fresca e seca e concluíram que a irrigação sob déficit hídrico pode melhorar a produção de massa fresca de orégano.

Em ambos os experimentos as plantas cultivadas sob irrigação deficitária no estágio fenológico de pré-florescimento apresentaram as melhores médias de biomassa seca e fresca e a estação sazonal que apresentou as melhores médias foi a primavera e o verão (Tabelas 9 e 10).

Vale ressaltar que as plantas cultivadas sob irrigação deficitária durante todo ciclo de cultivo e aquelas sob déficit hídrico apenas na fase vegetativa, em ambos os estádios sob potencial mátrico da água no solo maior que -100 kPa, apresentaram as melhores médias de biomassa fresca na estação quente do ano, período em que as temperaturas máximas e mínimas médias foram, respectivamente, 39,1 °C ± 4,0 °C e 20,2 ± 2,3 °C. A umidade relativa média do ar foi 58,7 % ± 5,6 %. Apesar da temperatura máxima média registrada estar fora da amplitude térmica requerida pelo orégano, 20°C a 35°C (MIJANI et al., 2013), a cultura conseguiu produzir melhor nesta época sazonal possivelmente

pelas melhores condições ambientais de realização das vias metabólicas secundárias, sendo estas mais eficientes nas estações quentes do ano (FIGUEIREDO et al., 2008).

Tabela 9 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para biomassa seca (g) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

fase fenológica	Ψ_m (kPa)	biomassa seca (g)		média
		primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
ciclo todo	-60,8	15,02 A b	14,65 A a	14,84
	-91,2	8,60 B c	15,06 A a	11,83
	-121,2	1,69 B d	11,85 A a b	6,77
	-152,0	1,55 B d	13,78 A a	7,67
fase vegetativa	-60,8	14,72 A b	11,75 A a b	13,24
	-91,2	15,37 A b	11,84 B a b	13,61
	-121,2	1,81 B d	12,73 A a	7,27
	-152,0	1,79 B d	14,21 A a	8,53
pré-florescimento	-60,8	15,88 A b	11,61 B a b	13,75
	-91,2	21,20 A a	11,63 B a b	16,42
	-121,2	14,97 A b	12,35 B a	13,66
	-152,0	13,43 A b	9,53 B b	11,48
controle		16,77 A a b	14,99 A a	15,88
média		10,91	12,93	11,92
coeficiente de variação (%)		2,01		

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Tabela 10 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para biomassa fresca (g) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

fase fenológica	Ψ_m (kPa)	biomassa fresca (g)		média
		primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
ciclo todo	-60,8	61,05 A b c	34,24 B a	47,65
	-91,2	62,14 A b c	26,02 B d	44,08
	-121,2	6,79 B d	11,87 A f	9,33
	-152,0	6,44 B d	11,07 A f	8,76
fase vegetativa	-60,8	62,18 A b c	44,02 B a	53,10
	-91,2	64,62 A a b	31,19 B c	47,91
	-121,2	6,88 B d	15,42 A e	11,15
	-152,0	6,26 B d	11,97 A f	9,12
pré-florescimento	-60,8	67,51 A a b	46,34 B a	56,93
	-91,2	61,88 A b c	44,03 B a	52,96
	-121,2	56,88 A c	35,93 B a	46,41
	-152,0	55,41 A c	34,00 B b	44,71
controle		70,32 A a	46,11 B a	58,22
média		45,26	30,17	37,71
coeficiente de variação (%)		2,85		

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

De acordo com Rioba et al. (2015) as plantas condimentares apresentam respostas diversas ao serem cultivadas em épocas sazonais diferentes. Ekren et al. (2012) observaram em Bornova na Turquia que as maiores médias de biomassa fresca e seca de manjerição foram obtidas na estação primavera/verão; os autores acreditam que o aumento da temperatura do ar proporciona o ganho de biomassa do manjerição.

Telci e Hisil (2008) verificaram que o coentro apresenta melhor produção de biomassa na primavera, pois maiores temperaturas estimulam a emissão de folhas e assim as plantas absorvem maior quantidade de luz. Farahani et al. (2009b) ao avaliarem o desempenho de plantas condimentares em condições de escassez hídrica em estações sazonais diversas verificaram que o acúmulo de massa das plantas condimentares aumenta com o aumento do fotoperíodo e com a temperatura do ambiente.

Kofidis et al. (2003) avaliaram a morfologia e a anatomia do orégano cultivado em diversas localidades e épocas sazonais na Grécia. As pesquisadoras verificaram que as plantas cultivadas na primavera/verão apresentaram as maiores médias de biomassa. As autoras perceberam que ao atender a demanda evapotranspirométrica da época sazonal as plantas investiram em produção de folhas com epiderme e mesófilo espessos de tal modo que o armazenamento de água nas folhas contribuiu com o turgor celular e consequentemente aumento da área foliar e assim a absorção de radiação foi ampliada de tal modo que o acúmulo de biomassa nestas plantas foi potencializado positivamente na estação quente do ano (MORTENSEN, 2014).

É possível perceber que a resposta do orégano ao déficit hídrico é semelhante às respostas das demais plantas pertencentes à família Lamiaceae. Pode-se inferir que o orégano é uma planta que produz biomassa significativamente quando não submetido à irrigação deficitária.

Em virtude da disponibilidade crítica de água doce na Terra, recomenda-se lançar mão da irrigação deficitária ou complementar na produção de alimentos. No caso do orégano, o uso da irrigação deficitária no pré-florescimento das plantas ocasionou melhor produção de biomassa, todavia tendo em vista a resposta do orégano frente à amplitude de potencial mátrico do experimento, foi possível diminuir a quantidade de água, em lâmina líquida, aplicada via irrigação e ainda aumentar o intervalo de eventos de irrigação (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 – Lâmina líquida total aplicada por tratamento no cultivo de *Origanum vulgare* L. em ambiente protegido, Piracicaba-SP, Brasil

fase fenológica	lâmina líquida total aplicada (mm)		
	Ψ_m (kPa)	primavera/verão	outono/inverno
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015
ciclo todo	-60,8	464,72	441,88
	-91,2	415,14	398,30
	-121,2	352,85	309,25
	-152,0	267,95	228,76
fase vegetativa	-60,8	556,64	421,54
	-91,2	540,72	391,85
	-121,2	505,10	335,92
	-152,0	423,70	296,03
pré-florescimento	-60,8	607,80	416,27
	-91,2	551,09	382,35
	-121,2	526,65	309,08
	-152,0	475,44	283,40
controle		671,38	502,25
lâmina líquida média (mm dia ⁻¹)		6,99	5,23

Tabela 12 – Intervalo de eventos de irrigação por potencial mátrico da água no solo no cultivo de *Origanum vulgare* L. em ambiente protegido, Piracicaba-SP, Brasil

intervalo médio de eventos de irrigação (dias)		
Ψ_m (kPa)	primavera/verão	outono/inverno
	06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015
-60,8	3	5
-91,2	5	7
-121,2	7	9
-152,0	9	11
controle	1	2

4.3 Produção de óleo essencial

Em ambas as estações sazonais de cultivo as melhores médias de teor e rendimento de óleo essencial foram obtidas das plantas cujo o potencial mátrico da água no solo foi igual a -60,8 kPa durante todo ciclo de cultivo (Tabelas 13 e 14). As plantas cultivadas sob estresse hídrico na fase vegetativa ou durante todo ciclo de cultivo, cujo potencial mátrico para realização da irrigação foi menor que -100 kPa, não produziram óleo essencial.

Tabela 13 – Teor de óleo essencial (%) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão			outono/inverno		
06/11/2014 a 09/02/2015			14/05/2015 a 17/08/2015		
tratamento		teor de óleo essencial (%) **	tratamento		teor de óleo essencial (%) ***
estádio fenológico	Ψ_m (kPa)		estádio fenológico	Ψ_m (kPa)	
ciclo todo	-60,8	3,080 a	ciclo todo	-60,8	0,243 a
ciclo todo*	-19,7	0,843 b	pré-florescimento	-91,2	0,241 a
pré-florescimento	-91,2	0,623 c	pré-florescimento	-121,2	0,240 a
pré-florescimento	-121,2	0,603 c	ciclo todo*	-19,7	0,190 b
pré-florescimento	-152,0	0,580 c	fase vegetativa	-91,2	0,173 bc
pré-florescimento	-60,8	0,536 c	pré-florescimento	-152,0	0,150 bc
fase vegetativa	-60,8	0,420 d	pré-florescimento	-60,8	0,147 bc
fase vegetativa	-91,2	0,130 e	fase vegetativa	-60,8	0,120 c
média		0,852	média		0,188
coeficiente de variação (%)		2,58	coeficiente de variação (%)		1,75

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD

* tratamento controle

** Dados transformados em $X^{0,25}$ (Box-Cox)

*** Dados transformados em $X^{-0,05}$ (Box-Cox)

Tabela 14 – Rendimento de óleo essencial (mg planta⁻¹) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão			outono/inverno		
06/11/2014 a 09/02/2015			14/05/2015 a 17/08/2015		
tratamento		rendimento de óleo essencial (mg planta ⁻¹)	tratamento		rendimento de óleo essencial (mg planta ⁻¹)
estádio fenológico	Ψ_m (kPa)		estádio fenológico	Ψ_m (kPa)	
ciclo todo	-60,8	26,25 a	ciclo todo	-60,8	3,12 a
ciclo todo*	-19,7	14,04 b	pré-florescimento	-91,2	2,76 ab
pré-florescimento	-91,2	9,41 c	ciclo todo*	-19,7	2,69 ab
pré-florescimento	-121,2	8,07 cd	pré-florescimento	-121,6	2,31 bcd
pré-florescimento	-152,0	8,04 cd	pré-florescimento	-152,0	2,10 cd
fase vegetativa	-60,8	7,88 cd	pré-florescimento	-60,8	2,10 cd
pré-florescimento	-60,8	6,68 d	fase vegetativa	-91,2	2,00 cde
fase vegetativa	-91,2	2,74 e	fase vegetativa	-60,8	1,48 de
média		10,39	média		2,32
coeficiente de variação (%)		9,7	coeficiente de variação (%)		8,8

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD (p<0,05)

*tratamento controle

De acordo com Penka (1978) a formação e o acúmulo de óleos essenciais nas plantas condimentares, alucinógenas, medicinais e aromáticas é função de duas variáveis, sendo uma delas o conteúdo de água no solo. O professor da “Mendel University in Brno” na República Tcheca ressalta que quanto menor for o conteúdo de água no solo, menor é a biossíntese de óleo essencial pela planta, todavia a irrigação tende a induzir o aumento de teor e rendimento de óleo essencial biossintetizado pela planta desde que combinado com outros fatores, por exemplo, a época fenológica de estresse hídrico.

De acordo Hussein et al. (2014) o estresse hídrico em plantas condimentares aumenta a produção de carboidratos por meio de ajustes nas relações fonte dreno da planta e assim a produção do óleo essencial é diminuída. Mediante as situações de estresse hídrico as plantas condimentares de modo geral ajustam as relações fonte-dreno de tal modo que o mesófilo foliar seja o dreno principal e o tricoma seja o dreno coadjuvante. Com isso a biossíntese de óleo essencial é reduzida e o acúmulo de biomassa é favorecido (BURMEISTER; GUTTENBERG, 1960; SANGWAN et al., 2001).

No presente estudo é visto que as plantas que sofreram estresse hídrico no pré-florescimento apresentaram as melhores médias de biomassa e não em produção de óleo essencial, acredita-se que mediante ao estresse hídrico no estágio fenológico destinado a biossíntese do óleo, estas plantas responderam ao estresse hídrico garantindo o acúmulo de biomassa mediante a limitação de água para continuidade da fotossíntese.

Vale enfatizar que as plantas que foram cultivadas sob potenciais mátricos menores que -90 kPa no pré-florescimento apresentaram médias de teor e rendimento de óleo essencial maiores que as plantas cultivadas sob estresse hídrico na fase vegetativa. De acordo com Abdelmajeed et al (2013) e Kofidis et al. (2003), a biossíntese de óleo essencial não é constante qualitativa e/ou quantitativamente, contudo ajuda a planta a suportar estresses ambientais pois a emissão de pêlos glandulares nas folhas no período de pré-florescimento ajuda a diminuir a transpiração vegetal.

Hassan et al. (2013) avaliaram os efeitos da irrigação deficitária no cultivo protegido de alecrim em Taif na Arábia Saudita. Os autores observaram que as plantas cuja irrigação foi manejada a 60% da capacidade de campo apresentaram maior média de teor de óleo essencial e os pesquisadores indicam

que o estresse hídrico ocasiona adaptações morfológicas nas plantas visando garantir a sobrevivência no ambiente, por exemplo, aumento de pêlos glandulares nas folhas de tal modo que a transpiração diminua e o acúmulo de óleo essencial na parte aérea seja favorecido.

Rioba et al. (2015) pesquisaram o desempenho agrônomo de sávia em relação a diferentes turnos de rega em Njoro no Quênia. As autoras observaram que as plantas cuja irrigação foi realizada a cada duas semanas apresentaram as maiores médias de teor de óleo essencial e ainda inferem que condições climáticas áridas influenciaram na síntese de óleos essenciais pelas plantas, pois as plantas que foram cultivadas sob maior frequência de irrigação apresentaram os melhores teores e rendimentos de óleo essencial.

Azizi et al. (2009) estudaram os efeitos do estresse hídrico no orégano em Rauischholzhausen na Alemanha. Os autores verificaram que as maiores médias de teor e rendimento de óleo essencial foram obtidas a partir de plantas submetidas ao estresse hídrico, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho às plantas submetidas a potenciais mátricos maiores que -90 kPa durante todo ciclo de cultivo.

Os resultados obtidos não concordam com Manukyan (2011). O pesquisador avaliou a produção de óleo essencial de erva cidreira em Munique na Alemanha e observou que a maior média de teor de óleo essencial foi obtida no tratamento de maior estresse hídrico. Todavia o autor infere que a capacidade de retenção de água no solo pode atenuar ou não os efeitos do déficit hídrico e esta é uma variável a ser considerada nos próximos estudos de déficit hídrico em plantas condimentares.

De acordo Abdelmajeed et al. (2013) e Figueiredo et al. (2008) as variáveis teor e rendimento de óleo essencial são dependentes da ambiência de cultivo da planta condimentar. Como já discorrido o orégano apresenta ajustes morfológicos em sua organografia vegetal mediante os estresses abióticos (SANGWAN et al., 2011) e as estações sazonais do ano (KOFIDIS et al., 2003). Os melhores índices de rendimento e teor de óleo essencial foram alcançados nas estações da primavera e verão (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para teor de óleo essencial (%) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

Ψ_m (kPa)	fase fenológica	teor de óleo essencial (%)		média
		primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
-60,8	ciclo todo	3,080 A a	0,243 B a	1,661
-60,8	fase vegetativa	0,536 A c d	0,120 B a	0,328
-60,8	pré-florescimento	0,420 A d	0,146 B a	0,283
-91,2	fase vegetativa	0,130 A e	0,173 A a	0,151
-91,2	pré-florescimento	0,623 A c	0,241 B a	0,431
-121,2	pré-florescimento	0,580 A c d	0,240 B a	0,365
-152,0	pré-florescimento	0,603 A c	0,150 B a	0,425
	controle	0,843 A b	0,190 B a	0,516
	média	0,852	0,189	0,520
	coeficiente de variação (%)	19,03		

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Tabela 16 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para rendimento de óleo essencial (mg planta⁻¹) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

Ψ_m (kPa)	fase fenológica	rendimento de óleo essencial (mg planta ⁻¹) *		média
		primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
-60,8	ciclo todo	26,25 A a	3,12 B a	14,68
-60,8	fase vegetativa	7,88 A d e	1,48 B e	4,68
-60,8	pré-florescimento	6,68 A e	2,10 B c d	4,39
-91,2	fase vegetativa	2,74 A f	2,00 B d	2,37
-91,2	pré-florescimento	9,41 A c	2,76 B d	6,09
-121,6	pré-florescimento	8,04 A c d	2,31 B c	5,17
-152	pré-florescimento	8,07 A c d	2,10 B c d	5,08
	controle	14,04 A b	2,69 B b	8,36
	média	10,38	2,32	6,35
	coeficiente de variação (%)	3,37		

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,01$)

*Dados transformados em $X^{0,5}$ (Box-Cox)

Chang et al. (2005) relatam que a produção de óleo essencial nas lamiáceas é maior quando a planta é cultivada sob temperaturas maiores que 25°C, o que para os referidos autores são as estações quentes do ano, já neste estudo, as plantas produziram óleo essencial tendo valores de temperatura mínima e máxima, respectivamente, entre 13,1 °C e 51,7 °C e a umidade relativa média do ar entre 48,4 % e 84,3 %.

Kofidis et al. (2003) verificaram que o orégano cultivado na primavera/verão apresenta maior quantidade de pelos glandulares em suas folhas, acredita-se que tais estruturas são emitidas para minimizar a transpiração e assim contribuem com o acúmulo de óleo nas folhas. As autoras ainda enfatizam que

nas estações quentes do ano o óleo essencial do orégano está concentrado nas faces ventral e dorsal das folhas e mediante ao adensamento dos tricomas glandulares ocasionados pela redução da biomassa, sendo esta provocada pelo estresse hídrico, todas as plantas dos tratamentos do experimento realizado na primavera/verão apresentaram maiores médias de teor e rendimento que as plantas cultivadas no outono/inverno.

Baker e Putievsky (1978) avaliaram o desempenho do orégano cultivado nas quatro estações sazonais do ano em Israel e verificaram ao longo dos anos de experimento que os maiores teores de óleo essencial foram obtidos dos cultivos realizados na primavera/verão. Os autores destacam ainda que altas temperaturas contribuem para a biossíntese de óleo essencial do orégano. O mesmo resultado foi obtido por Trivino e Johnson (2000) na Grécia. Os pesquisadores entenderam que as condições meteorológicas da primavera e do verão atendem plenamente o cultivo do orégano e inferem que o orégano é uma planta de dia longo.

Tibaldi et al. (2011) analisaram as respostas do orégano a estresses abióticos em Carmagnola na Itália. Os pesquisadores observaram que as plantas cultivadas em dias de maior fotoperíodo apresentaram as maiores produções de óleo essencial. Circella et al. (1995) avaliaram os efeitos do fotoperíodo na biossíntese e composição de óleo essencial de orégano no leste italiano. As autoras obtiveram os melhores teores de óleo essencial nas plantas cultivadas com mais de 13 horas de fotoperíodo.

Mediante aos resultados relatados no hemisfério norte e aos obtidos neste estudo, pode-se crer que o orégano se comporta como uma planta de dia longo no hemisfério sul, todavia são necessários mais estudos no hemisfério sul para quantificar as necessidades térmicas do orégano e assim entender melhor o desempenho produtivo do orégano no Brasil.

4.4 Produtividade da água

As plantas cultivadas em déficit hídrico no pré-florescimento sob potenciais mátricos iguais a -121,6 e -152,0 kPa apresentaram as melhores médias de produtividade da água no outono/inverno. Já na primavera/verão as plantas cultivadas em todo tempo em déficit hídrico sob potencial mátrico igual a -60,8 kPa apresentaram a melhor média de produtividade da água em função do óleo essencial (Tabela 17). Os melhores índices de produtividade da água em função do óleo essencial foram alcançados no cultivo realizado na primavera/verão (Tabela 18).

Tabela 17 – Produtividade da água em função do óleo essencial de *Origanum vulgare* L., Piracicaba- SP, Brasil

primavera/verão			outono/inverno		
06/11/2014 a 09/02/2015			14/05/2015 a 17/08/2015		
tratamento		PRA _{óleo}	tratamento		PRA _{óleo}
estádio fenológico	Ψ_m (kPa)	(mg mm ⁻¹ H ₂ O)	estádio fenológico	Ψ_m (kPa)	(mg mm ⁻¹ H ₂ O)
ciclo todo	-60,8	1,8923 a	pré-florescimento	-152	0,2333 a
ciclo todo*	-19,7	0,3773 b	pré-florescimento	-121,6	0,2183 a
pré-florescimento	-91,2	0,3317 bc	pré-florescimento	-91,2	0,1853 b
pré-florescimento	-121,6	0,3233 bc	ciclo todo*	-19,7	0,1780 b
pré-florescimento	-152	0,2920 bcd	ciclo todo	-60,8	0,1630 b
fase vegetativa	-60,8	0,2707 cd	fase vegetativa	-91,2	0,1593 b
pré-florescimento	-60,8	0,2113 d	pré-florescimento	-60,8	0,1397 b
fase vegetativa	-91,2	0,0967 e	fase vegetativa	-60,8	0,1040 b
média		0,474	média		0,173
coeficiente de variação (%)		4,73	coeficiente de variação (%)		14,57

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD

* tratamento controle

Tabela 18 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para produtividade da água em função do óleo essencial (mg mm⁻¹ H₂O) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

		PRA _{óleo} (mg mm ⁻¹ H ₂ O)		média
Ψ_m (kPa)	fase fenológica	primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
-60,8	ciclo todo	1,8923 A a	0,1630 B a	1,028
-60,8	fase vegetativa	0,2707 A cd	0,1040 B a	0,187
-60,8	pré-florescimento	0,2113 A d	0,1397 B a	0,176
-91,2	fase vegetativa	0,1593 A e	0,1167 B a	0,128
-91,2	pré-florescimento	0,3317 A bc	0,1853 B a	0,259
-121,6	pré-florescimento	0,3233 A bc	0,2183 B a	0,271
-152	pré-florescimento	0,2920 A bcd	0,2333 B a	0,263
	controle	0,3773 A b	0,1780 B a	0,278
	média	0,4744	0,1726	0,324
	coeficiente de variação (%)		8,79	

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD (p<0,05)

Os resultados obtidos mostram que os melhores índices de produtividade da água em função do óleo essencial obtidos no verão são das plantas cultivadas em solos cuja capacidade de água disponível (CAD) é a menor de todos os tratamentos do fatorial, ou seja, 15,58 mm. Estas plantas receberam ao todo 464,72 mm de água, lâmina corresponde a 69,21 % do tratamento controle (irrigação plena a 100% da capacidade de campo). A partir disto se pode inferir que é possível economizar 30,79% de água e alcançar o melhor índice de produtividade da água em função de óleo essencial no verão.

No experimento realizado no outono as melhores médias são resultantes das plantas cultivadas em solos cuja CAD é, respectivamente, 21,28 mm e 22,70 mm, as maiores de todo o experimento. Nestes tratamentos houve, respectivamente, uma economia hídrica, respectivamente, de 38,46% (-121,6 kPa no pré-florescimento) e 43,57% (-152,0 kPa no pré-florescimento) em relação ao tratamento controle do experimento que demandou ao todo no outono/inverno 502,25 mm. Vale enfatizar que mediante o resultado obtido e visando também a economia de energia, recomenda-se manejar a irrigação da cultura do orégano visando a melhor produtividade da água no outono/inverno sob déficit hídrico no pré-florescimento sob potencial mátrico igual a -152 kPa.

Bahreininejad et al. (2013) pesquisaram as respostas do *Thymus daenensis* a diferentes fatores de depleção de água no solo em Najaf-abad no Irã. Os autores observaram que o melhor índice de produtividade da água em função do óleo essencial no verão foi obtido das plantas cuja irrigação foi manejada sob fator f a 0,50 e no inverno sob fator f igual a 0,80. De acordo com os autores uma das variáveis que influencia no resultado da produtividade da água é a evapotranspiração de referência (ET_o). Os professores abordam que quanto maior a ET_o da localidade no período de cultivo e quanto maior for déficit hídrico menor será o índice de produtividade da água, pois a planta sob déficit hídrico tem gasto energético na absorção da quantidade limitada de água ofertada via irrigação deficitária e ainda tem as perdas de água por meio da evapotranspiração que contribuem com a diminuição da produtividade da água (FAROOQ et al., 2009).

A partir disto pode-se entender porque os índices de produtividade da água obtidos na primavera/verão foram os melhores por dois motivos basicamente, o primeiro deles, a melhor produção de óleo essencial ter sido na primavera/verão e o segundo, a maior aplicação de água via irrigação. Vale ressaltar que a ET_o é sempre

maior na primavera/verão se comparado com o outono/inverno, com isso as plantas que foram cultivadas em solos com maior frequência de irrigação apresentaram no verão as melhores produtividades de água. Todavia no inverno, época sazonal de menores índices de ETo, as plantas sob maior déficit hídrico (menor frequência de irrigação) apresentaram os melhores índices de produtividade da água em função do óleo essencial, pois sendo a ETo menor que no verão, possivelmente o gasto energético com absorção de água foi menor, assim as plantas sob maior déficit hídrico conseguiram utilizar melhor a água na produção de óleo essencial no outono/inverno (FARAHANI et al., 2008; HSIAO et al., 2007).

As plantas do tratamento controle apresentam melhor índice de produtividade da água em função da biomassa seca (PRA_{orégano}) em ambos os experimentos (Tabela 19).

Tabela 19 – Teste F de Snedecor para a produtividade da água ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) em função da biomassa seca de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

--	PRA _{seca} ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	
	primavera/verão *	outono/inverno
	06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015
controle	22,79 A	28,61 A
tratamentos	19,39 B	26,25 B
média	21,09	27,43
coeficiente de variação (%)	4,21	5,23

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

*Dados transformados em $X^{0,05}$ (Box-Cox)

Em ambas as épocas sazonais as plantas cultivadas nos tratamentos de déficit hídrico cujo potencial mátrico foi igual a -91,2 kPa apresentaram as melhores médias de PRA_{orégano} sendo que na primavera se destacaram as plantas cujo estresse hídrico foi no pré-florescimento e as plantas cujo estresse hídrico foi ao longo de todo cultivo se destacaram no outono/inverno (Tabela 20).

Os índices de produtividade da água em função da biomassa seca refletem a economia hídrica ocasionada pelo manejo da irrigação avaliado no experimento. A lâmina líquida total aplicada no tratamento em que foi obtida a maior média de produtividade da água no verão corresponde a 82,08% da lâmina líquida total aplicada no tratamento controle, ou seja, foi possível economizar na primavera/verão 120,25 mm de água na produção de biomassa seca de orégano.

Já no outono a lâmina líquida total aplicada correspondente a melhor média de produtividade da água em função da biomassa seca equivale a 79,30% da lâmina líquida total aplicada no tratamento controle, sendo que nesta época sazonal foi possível economizar 104 mm de água na produção do condimento.

Tabela 20 – Produtividade da água em função da biomassa seca ($\text{mg mm}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

primavera/verão					
06/11/2014 a 09/02/2015					
fase fenológica	Potencial matricial (kPa)				média
	-152,0	-121,2	-91,2	-60,8	
pré-florescimento	26,88 A a	25,73 A a	37,25 A a	25,28 B a	26,24
ciclo todo	5,79 B c	7,17 B c	27,28 C b	30,75 A a	17,75
fase vegetativa	6,90 B c	8,55 B c	27,05 B a	25,44 B b	19,54
média	13,19	13,82	30,53	27,15	21,17
coeficiente de variação (%)	4,21				
outono/inverno					
14/05/2015 a 17/08/2015					
fase fenológica	Potencial matricial (kPa)				média
	-152,0	-121,2	-91,2	-60,8	
pré-florescimento	34,08 A a	26,21 A c	36,93 A a	29,72 B b	31,74
ciclo todo	12,51 B c	13,53 B c	37,69 A a	34,88 A a	22,05
fase vegetativa	11,51 B d	16,50 B c	27,28 B b	34,21 A b	24,98
média	19,37	18,75	33,97	32,94	26,25
coeficiente de variação (%)	5,23				

Médias seguidas de letras minúsculas na linha ou letras maiúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Uma possível explicação para o resultado é que a produtividade da água pode ser potencializada quando o manejo da irrigação deficitária não é severo, ou seja, adotando potenciais mátricos maiores que -100 kPa pode-se obter maiores valores de produtividade da água, visto que estresses hídricos brandos podem promover o crescimento longitudinal de raízes no solo e assim aumentar a absorção de água pelas raízes (SERVANI et al., 2014). Apesar de a irrigação deficitária ter ocasionado menor produção de orégano se comparado com o tratamento controle (manutenção do solo na capacidade de campo), o estresse hídrico pode possibilitar aumento da produtividade da água, ou seja, em casos de disponibilidade restrita de água e/ou energia, recomenda-se adotar a irrigação deficitária no cultivo do orégano.

Jaafar et al. (2015) avaliaram a produtividade da água no cultivo do orégano sob manejo da irrigação via clima em Beqaa Valley na República do Líbano. De acordo com os autores a adoção do manejo da irrigação a 120% da

evapotranspiração de referência resulta na maior média de produtividade da água, todavia os autores relatam que é possível obter índices significativos de produtividade da água sob menores lâminas de irrigação desde que o manejo da irrigação deficitária esteja associado a alguma prática cultural e ainda avultam que o alcance de melhores índices de produtividade da água também depende do estado nutricional e fitossanitário da cultura. Os autores observaram que as plantas cultivadas sob 80 e 100% da ETo apresentaram médias estatisticamente iguais ao tratamento a 120% da ETo, e recomendam a adoção da irrigação deficitária no cultivo do orégano.

Todos os tratamentos avaliados apresentaram melhores índices de produtividade da água em função da biomassa seca no outono/inverno (Tabela 21).

Tabela 21 - Teste F de Snedecor para o efeito da estação do ano dentro de cada tratamento para produtividade da água em função da biomassa seca (PRA_{seca} - $mg\ mm^{-1}\ H_2O$) de *Origanum vulgare* L., Piracicaba-SP, Brasil

fase fenológica	Ψ_m (kPa)	PRA_{seca} ($mg\ mm^{-1}\ H_2O$)		média
		primavera/verão	outono/inverno	
		06/11/2014 a 09/02/2015	14/05/2015 a 17/08/2015	
ciclo todo	-60,8	30,75 B d	34,88 A a b	32,82
	-91,2	27,28 B c	37,69 A a	28,6
	-121,2	7,17 B f	13,53 A f	10,35
	-152,0	5,79 B f	12,51 A f	9,15
fase vegetativa	-60,8	25,44 B c d	34,21 A b	29,83
	-91,2	27,05 B c	27,28 A c	27,17
	-121,2	8,55 B e	16,50 A e	12,53
	-152,0	6,90 B f	11,51 A f	9,21
pré-florescimento	-60,8	25,28 B c d	29,72 A c	27,5
	-91,2	37,25 A a	36,93 A a b	31,99
	-121,2	25,73 A c	26,21 A d	25,97
	-152,0	26,88 B c	34,08 A b	30,48
controle		22,80 B d e	28,61 A c d	25,71
média		21,29	26,64	23,97
coeficiente de variação (%)		10,61		

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Bahreininejad et al. (2013) pesquisaram as respostas do *Thymus daenensis* a diferentes fatores de depleção de água no solo em Najaf-abad no Irã. Os autores observaram que o melhor índice de produtividade da água em função da biomassa seca no verão foi obtido das plantas cuja irrigação foi manejada sob fator f a 0,50 e no inverno os autores não observaram diferenças significativas entre as médias de produtividade da água em função da biomassa seca.

Os índices de produtividade da água obtidos no outono/inverno foram os melhores basicamente por um motivo: a menor aplicação de água via irrigação. Vale ressaltar que a ETo é sempre maior na primavera/verão se comparada com o outono/inverno. Com isso as plantas que foram cultivadas em solos com maior frequência de irrigação apresentaram no outono/inverno as melhores produtividades de água, pois sendo a ETo menor que no verão, possivelmente o gasto energético com absorção de água foi menor, assim as plantas sob maior déficit hídrico conseguiram utilizar melhor a água na produção de biomassa no outono/inverno (FARAHANI et al., 2008; FAROOQ et al., 2009; HSIAO et al., 2007).

5 CONCLUSÕES

- ✓ O potencial mátrico -60,8 kPa adotado no manejo da irrigação durante todo o cultivo do orégano resultou no maior teor e rendimento de óleo essencial;
- ✓ O potencial mátrico -91,2 kPa adotado no manejo da irrigação durante o pré-florescimento do orégano resultou na melhor média de biomassa seca;
- ✓ O potencial mátrico -60,8 kPa adotado no manejo da irrigação durante o pré-florescimento do orégano resultou na melhor média de biomassa fresca;
- ✓ A maior produtividade da água em função do óleo essencial foi alcançada manejando a irrigação do orégano a -60,8 kPa durante todo ciclo de cultivo;
- ✓ A maior produtividade da água em função da biomassa seca foi alcançada manejando a irrigação do orégano a -91,2 kPa durante todo ciclo de cultivo;
- ✓ A melhor estação sazonal para cultivo do orégano tendo por foco a extração de óleo essencial foi à primavera/verão; e
- ✓ Ambas estações sazonais são recomendadas para o cultivo do orégano tendo por foco a produção de biomassa seca e fresca.

REFERÊNCIAS

ABDELMAJEED, N.A.; DANIAL, E.N.; AYAD, H.S. The effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants.

Archives Des Sciences, Genebra, v.66, n.4, p.100-120, 2013.

ASENSIO, C.M.; GROSSO, N.R.; JULIANI, H.R. Quality characters, chemical composition and biological activities of oregano (*Origanum* spp.) essential oils from central and southern Argentina. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v.63, p.203–213, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.056>

ATALLAH, S.S.; SALIBY, I.E.; BAALBAKI, R.; TALHOUK, S.N. Effects of different irrigation, drying and production scenarios on the productivity, postharvest quality and economic feasibility of *Origanum syriacum*, a species typically over-collected from the wild in Lebanon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v.91, p.337–343, 2011. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4191>

AZIZI, A.; YAN, F.; HONERMEIER, B. Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 29, p.554-561, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.001>

BAFANA, A. Diversity and metabolic potential of culturable root-associated bacteria from *Origanum vulgare* in sub-Himalayan region. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v.29, p.63-74, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-012-1158-3>

BAHER, Z.F.; MIRZA, M.; GHORBANLI, M.; REZAIL, M.B. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v.17, p.275–277, 2002. <http://dx.doi.org/10.1002/ffj.1097>

BAHREININEJAD, B.; RAZMJOO, J.; MIRZA, M. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v.7, n.1, p. 151-156, 2013.

BARREYRO, R.; RINGUELET, J.; AGRÍCOLA, S. Fertilización nitrogenada y rendimiento en orégano (*Origanum x applii*). **Ciencia e Investigacion Agraria**, Santiago, v.32, n.1, p.39-43, 2005. <http://dx.doi.org/10.4067/rcia.v32i1.305>

BASKER, D.; PUTIEVSKY, E. Seasonal variation in the yields of herb and essential oil in some Labiatae species. **Journal of Horticultural Science**, Londres, v.53, n.3, p.179-183, 1978.

BATISTA, S.C.O.; CARVALHO, D.F.; ROCHA, H.S.; THANER DOS SANTOS, H.; MEDICI, L.O. Production of lettuce automatically watered with a low cost controller. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.11, p.485-489. 2013.

BEKHRADI, F.; LUNA, M.C.; DELSHAD, M.; JORDAN, M.J.; SOTOMAYOR, J.A.; MARTÍNEZ-CONESA, C.; GIL, M.I. Effect of deficit irrigation on the postharvest quality of different genotypes of basil including purple and green iranian cultivars and a genovese variety. **Postharvest Biology and Technology**, Amesterdã, v.100, p. 127–135, 215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.017>

BERNÁTH, J. Some scientific and practical aspects of production and utilization of oregano in central Europe. In: PADULOSI, S. Oregano, IPGRI INTERNATIONAL WORKSHOP, 14., 2015. **Proceedings**.... Italy, Rome, 2015. p. 75–92. Disponível em: < http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Oregano_199.pdf >. Acesso em 08 nov. 2015.

BETTAIEB, I.; ZAKHAMA, N.; WANNES, W.A.; KCHOUK, M.E.; MARZOUK, B. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. **Scientia Horticulturae**, Oxford, v.120, p. 271–275, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.016>

BHALAGE, P.; JADIA, B.B.; SANGALE, S.T. Case studies of innovative irrigation management techniques. **Aquatic Procedia**, Leipzig, v.4, p.1197–1202, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.152>

BOX, G.E.P.; HUNTER, J.S.; HUNTER, W.G. **Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery**. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005.633p.

BREUSCH, T.S.; PAGAN, A.R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica**, Chicago, v.47, n.5, p.1287–1294, 1979.
<http://doi.org/10.2307/1911963>

BURMEISTER, J.; GUTTENBERG, H.V. Die ätherischen öle als produkt eines partiell anaeroben stoffwechsels. **Planta Medica**, Stuttgart, v.8, n.1, p.1-33, 1960.
<http://dx.doi.org/10.1055/s-0028-1101533>

CHAUHAN, N.K.; SINGH, S.; HAIDER, S.Z.; LOHANI, H. Influence of phenological stages on yield and quality of oregano (*Origanum vulgare* L.) under the agroclimatic condition of doon valley (uttarakhand). **Indian Journal Pharmaceutical Science**, Nova Delhi, v.75, n.4, p.489-493, 2013. <http://dx.doi.org/10.4103/0250-474X.119824>

CHAVES-LOPEZ, C.; MARTIN-SANCHEZ, A.M.; FUENTES-ZARAGOZA, E. Role of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil as a surface fungus inhibitor on fermented sausages: evaluation of its effect on microbial and physicochemical characteristics. **Journal of Food Protection**, Iowa, v.1, p.104–111, 2012.
<http://dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-184>

CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.55, n.407, p. 2365–2384, 2004. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erh269>

CHANG, X.; ALDERSON, P.G.; WRIGHT, C.J. Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Londres, v.80, n.5, p.593-598, 2005.

CHIRINOS, O. **Exportación de orégano de Tacna al mercado de Brasil**. Lima, ESAN Ediciones, 2009. 208p.

CIRCELLA, G.; FRANZ, CH.; NOVAK, J.; RESCH, H. Influence of day length and leaf insertion on the composition of marjoram essential oil. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v.10, n.6, p.371–374, 1995.
<http://dx.doi.org/10.1002/ffj.2730100607>

CLAYDEN, J.; GREEVES, N.; WARREN, S.G. **Organic Chemistry**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2012. 1234p.

CLEVENGER, J.F. **Apparatus for the determination of volatile oil**. **Journal of the American Pharmaceutical Association**, Easton, v.17, n.4, p.345–349, 1928.
<http://dx.doi.org/10.1002/jps.3080170407>

COWLING, S.A. Did early land plants use carbon-concentrating mechanisms? **Trends in Plant Science**, Cambridge, v.18, n.3, p.120–124, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.009>

DABACH, S.; SHANIA, U.; LAZAROVITCH, N. The influence of water uptake on matric head variability in a drip-irrigated root zone. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v.155, p.216–224, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.012>

D'ANTUONO, L.F.; GALLETTI, G.C.; BOCCHINI, P. Variability of essential oil content and composition of *Origanum vulgare* L. Populations from a North Mediterranean area (Liguria Region, Northern Italy). **Annals of Botany**, Oxford, v.86, p. 471-478, 2000. <http://dx.doi.org/10.1006/anbo.2000.1205>

DARDIOTI, A.; KAROUSOU, R.; LANARAS, T.; KOKKNI, S. Diversity of *Satureja pilosa* subsp. *origanita* essential oils: A new “oregano” from East Mediterranean. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v.40, p.178-183, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2011.10.015>

DAVIDENCO, V.; VEGA, C.R.C.; PICCARDI, M.B.; ARGUELLO, J.A. Development in *Origanum* ssp.: a simple phenological scale to determine thermal time requirements to critical reproductive events. **Scientia Horticulturae**, Oxford, v.186, n.21, p.70–76, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.012>

DO, T.K.T.; HADJI-MINAGLOU, F.; ANTONIOTTI, S.; FERNANDEZ, X. Authenticity of essential oils. **Trends in Analytical Chemistry**, Amesterdã, v.66, p.146–157, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.007>

DODD, I.C.; PUÉRTOLAS, J.; HUBER, K.; PÉREZ-PÉREZ, J.G.; WRIGHT, H.R.; BLACKWELL, M.S. The importance of soil drying and re-wetting in crop phytohormonal and nutritional responses to deficit irrigation. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.66, n.8, p.2239–2252. 2015. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eru532>

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; DAVIES, W.J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.66, n.8, p.2253–2269, 2015. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erv034>

ECONOMAKIS, C.D. Effect of potassium on growth and yield of *Origanum dictamnus* L. in solution culture. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.331, p.339–344, 1993. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.331.46>

ECONOMAKIS, C.D.; DEMETZOS, H.S.C.; SOKOVIĆ, M.; THANOS, C.A. Effect of phosphorus concentration of the nutrient solution on the volatile constituents of leaves and bracts of *Origanum dictamnus*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.50, n.22, p.6276–6280, 2002. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0203444>

EL GENDY, A.N.; LEONARDI, M.; MUGNAINI, L.; BERTELLONI, F.; EBANI, V.V.; NARDONI, S.; MANCIANTI, F.; HENDAWY, S.; OMER, E.; PISTELLI, L. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of wild and cultivated *Origanum syriacum* plants grown in Sinai, Egypt. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v.67, p.201–207, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.038>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2011. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

EKREN, S.; SONMEX, C.; OZCAKAL, KURTTAS, Y.S.K.; BAYRAM, E.; GURGULU, H. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, Oxford, v.109, p.155–161, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.004>

ESTEVEZ, B.S.; LOUSADA, L.L.; SOUSA, E.F.; CAMPOSTRINI, E. Advanced techniques using the plant as indicator of irrigation management. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.5, p. 821-827, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140501>

FARAHANI, A.; LEBASCHI, H.; HUSSEIN, M.; HUSSEIN, S.A.; REZA, V.A.; JAHANFAR, D. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Journal of Medicinal Plants Research**, Cidade do Cabo, v.2, n.6, p.125-131, 2008.

FARAHANI, H.A.; VALADABADI, S.A.; DANESHIAN, J.; KHALVATI, M.A. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. **Journal of Medicinal Plants Research**, Cidade do Cabo, v.3, n.5, p.329-333, 2009a.

FARAHANI, H.A.; VALADABADI, S.A.; DANESHIAN, J.; SHIRANIRAD, A.H.; KHALVATI, M.A. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. **Journal of Horticulture and Forestry**, Cidade do Cabo, v.1, n.6, p.86-92, 2009b.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S.M.A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v.29, p.185–212, 2009. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2008021>

FIGUEIREDO, A.C.; BARROSO, J.G.; PEDRO, L.G.; SCHEFFER, J.J.C. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v.23, p.213–226, 2008. <http://dx.doi.org/10.1002/ffj.1875>

FOLEY, J.A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K.A.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N.D.; CONNELL, C.O.; RAY, D.K.; WEST, P.C.; BALZER, C.; BENNETT, E.M.; CARPENTER, S.R.; HILL, J.; MONFREDI, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D.M.P. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v.478, p.337-342, 2011. <http://dx.doi.org/10.1038/nature10452>

GADANAKIS, Y.; BENNETT, R.; PARK, J.; AREAL, F.J. Improving productivity and water use efficiency: a case study of farms in England. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.160, p.22–32, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.020>

GAVALAS, N.P.; KALBURTJI, K.L.; KOKKINI, S.; MAMOLOS, A.P.; VERESOGLOU, D.S. Ecotypic variation in plant characteristics for *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* populations. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v.39, p.562–569, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2011.08.007>

GERSHENZON, J.; MAFFEI, M.; CROTEAU, R. Biochemical and histochemical localization of monoterpene biosynthesis in the glandular trichomes of spearmint (*Mentha spicata*). **Plant Physiology**, Washington, v.89, p. 1351-1357, 1989. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.89.4.1351>

GHANBARIAN-ALAVIJEH, B.; LIAGHAT, A.; HUANG, G.H.; VAN GENUCHTEN, M.T. Estimation of the van Genuchten soil water retention properties from soil textural data. **Pedosphere**, Nanjing, v.20, n.4, p.456–465, 2010.

GOMES, D.P.; CARVALHO, D.F.; ALMEIDA, W.S.; MEDICI, L.O.; GUERRA, J.G.M. Organic carrot-lettuce intercropping using mulch and different irrigation levels. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.12, p.323-328, 2014.

GOTTLIEB, O.R.; SALATINO, A. Função e evolução de óleos essenciais e de suas estruturas secretoras. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, n.8, p.707-716, 1987.

GUIDI, L.; LANDI, M. Aromatic Plants: use and nutraceutical properties. In: **Novel Plant Bioresources: Applications in Food, Medicine and Cosmetics**. Bognor Regis: JohnWiley, 2014. p. 305-346. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118460566.ch23>

GUVENALP, Z.; TURAN, M.; SUMER, Z. Study on antitumoral activity of some chemical compounds isolated from *Origanum vulgare* ssp. **Planta Medica**, Stuttgart, v.76, p.271, 2010. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-1264569>

HADACEK, F. Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Oxford, v.21, n.4, p.273–322, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/0735-260291044269>

HARTMANN, T. Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v.80, n.1, p.177-188, 1996. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1570-7458.1996.tb00914.x>

HASSAN, F.A.S.; BAZAID, S.; ALI, E.F. Effect of deficit irrigation on growth, yield and volatile oil contenton *Rosmarinus officinalis* L. plant. **Journal of Medicinal Plants Studies**, Delhi, v.1, n.3, p.12-21, 2013.

HESSINI, K.; MARTÍNEZ, J.P.; GANDOUR, M.; ALBOUCHI, A.; SOLTANI, A.; ABDELLYA, C. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.67, n.3, p.312–319, 2009.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.010>

HONERMEIER, B., ALI, S.; LESCHHORN, B.; MAHMOOD, A.; IJAZ, M.; RUSSO, M.; SHAFIEE-HAJIABAD, M.; ULLAH, M.; ZELLER, S. Cultivation of medicinal and spice plants in Germany – A review. **International Journal of Agriculture & Biology**, Pequim, v.15, p. 1379 – 1388, 2013.

HSIAO, T.C.; STEDUTO, P.; FERERES, E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, Nova Iorque, v.25, p.209-231, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-007-0063-2>

HUSSEIN, M.S.; EL-SHERBENY, S.E.; HENDAWY, S.F.; EL GOHARY, A.E.; GHAZAL, G.M.E.M. Response of *Mentha longifolia* to water irrigation intervals and/or Mepiquat Chloride treatments. **Journal of Materials and Environmental Science**, Oujda, v.5, n.4, p.995-1004, 2014.

JAAFAR, H.; KHRAIZAT, Z.; BASHOUR, I.; HAIDAR, M. Water productivity of *Origanum syriacum* under different irrigation and nitrogen treatments using an automated irrigation system. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, New Forest, v.196, p.211-219, 2015. <http://dx.doi.org/10.2495/WRM150181>

JESHNI, M.G.; MOUSAVINIK, M.; KHAMMARI, I.; RAHIMI, M. The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. No prelo.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.02.003>

JONES, H.G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.55, n.407, p.2427–2436, 2004.

<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erh213>

KARAMANOS, A.J.; SOTIROPOULOU, D.E.K. Field studies of nitrogen application on Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) letswaart) essential oil during two cultivation seasons. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v.46, p.246-252, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.021>

KASSAHUN, B.M.; TILAHUN, S.; ZIGENE, Z.D.; TEFERI, Z.; MEKONNEN, M.; MELKA, B. Morpho-agronomic characteristics, essential oil content and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* L.) in Ethiopia. **Scholarly Journal of Agricultural Science**, Abuja, v.4, n.12, p.565-571, 2014.

KAWASE, K.Y.F.; MOTHÉ, C.G.; FURTADO, F.A.; COELHO, G.L.V. Changes in essential oil of *Origanum vulgare* L. affected by different extraction methods. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, Islamabad, v.14, n.2, p.238-247, 2013.

KHALIL, S.E.S.; EL-NOEMANI, A.S.A. Effect of bio-fertilizers on growth, yield, water relations, photosynthetic pigments and carbohydrates contents of *Origanum vulgare* L. plants grown under water stress conditions. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, Amman, v.9, n.4, p.60-73, 2015.

KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.M.; MOUSTAKAS, M. Contemporary seasonal and altitudinal variations of leaf structural features in oregano (*Origanum vulgare* L.). **Annals of Botany**, Oxford, v.92, p.635-645, 2003. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg180>

KUMAR, M.; REDDY, K.S.; ADAKE, R.V.; RAO, C.V.K.N. Solar powered micro-irrigation system for small holders of dryland agriculture in India. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.158, p.112–119, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.006>

LEE, J.H.; LEE, J.; SONG, K.B. Development of a chicken feet protein film containing essential oils. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.46, p.208-215, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.020>

LEMHADRI, A.; ZEGGWAGH, N.A.; MAGHRANI, M. Anti-hyperglycaemic activity of the aqueous extract of *Origanum vulgare* growing wild in Tafilalet region. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v.92, p.251–256, 2004.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.026>

LÉTOURNEAU, G.; CARON, J. ANDERSON, L.; CORMIER, J. Matric potential-based irrigation management of field-grown strawberry: effects on yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.161, p.102–113, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.005>

LIU, J.; FOLBERTH, C.; YANG, H.; RO, ROCKSTROM, J.; ABBASPOUR, K.; ZEHNDER, A.J.B. A global and spatially explicit assessment of climate change impacts on crop production and consumptive water use. **Plos One**, San Francisco, v.8, n.2, p.1-13, 2013. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0057750>

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2010. 216p.

LOPEZ, Glória Gonzalez. ARIAS, Daissy Romero. **Evaluación de diferentes dosis y frecuencias de aplicación de compost para la producción de romero (*Rosmarinus officinalis*) y oregano (*Origanum vulgare*) bajo invernadero**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Facultad de Ciencias e Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2009. Disponível em: <<http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10177>>. Acesso em: 2016-02-18.

LUKAS, B.; SCHMIDERER, C.; MITTEREGGER, U.; NOVAK, J. Arbutin in marjoram and oregano. **Food Chemistry**, Londres, v.121, n.1, p.185-190, 2010.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.028>

MAN, J.; SHI, Y.; YU, Z.; ZHANG, Y. Dry matter production, photosynthesis of flag leaves and water use in winter wheat are affected by supplemental irrigation in the Huang-Huai-Hai plain of China. **Plos One**, San Francisco, v.10, n.9, p.1-18, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0137274>

MANUKYAN, A. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production: I. Drought Stress. **Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology**, Tóquio, v.5, n.2, p.119-125, 2011.

MATEOS, L.; ARAUS, J.L. Hydrological, engineering, agronomical, breeding and physiological pathways for the effective and efficient use of water in agriculture.

Agricultural Water Management, Oxford, v.164, n.1, p.190–196, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.017>

MATRAKA, M.; NINOU, E.; GIANNAKOULA, A.; LAZARI, D.; PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDISA, A.M. Effects of soil water content on *Mentha spicata* L. and *Origanum dictamnus* L.). **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalém, v.58, n.3/4, p.229, 2010. <http://dx.doi.org/10.1560/IJPS.58.2.229>

MENESES, R.; OCAZONEZ, R.E.; MARTINEZ, J.R.; STASHENKO, E.E. Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication *in vitro*. **Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials**, Londres, v.8, n.1, p.8, 2009. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-0711-8-8>

MIJANI, S.; ESKANDRI NASRABADI, S.; ZARGHANI, H.; GHAS ABADI, M. Seed germination and early growth responses of hyssop, sweet basil and oregano to temperature levels. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v.5, n.4, p.462-467, 2013.

MORTENSEN, L.M. The effect of air temperature on growth of eight herb species. **American Journal of Plant Sciences**, Washington, v.5, p.1542-1546, 2014.

<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.511168>

NEUMANN, P.M. The role of cell wall adjustments in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, Madison, v.35, n.5, p.1258-1266, 1995.

<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050002x>

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Nova lorque, v.31, p.213 – 237, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00184-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00184-8)

OMER, E.A. Response of wild egyptian oregano to nitrogen fertilization in a sandy soil. **Journal of Plant Nutrition**, Nova lorque, v.22, n.1, p.103-114, 1999.

<http://dx.doi.org/10.1080/01904169909365610>

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L.S.P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.5. p.1-8, 2014.

<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>

ÖZGÜVEN, M.; BUX, M.; KOLLER, W.D.; SEKEROGLU, N.; KIRPIK, M.; MÜLLER, J. Einfluss instationärer Trocknungsbedingungen bei der Schatten-, Sonnen- und Solartrocknung auf die Qualität von *Lavandula officinalis* L., *Origanum syriacum* L. und *Thymbra spicata* L. **Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen**, Berlim, v.12, n.2, p.80-87, 2007.

PARASKEVAKIS, N. Effects of dietary dried Greek Oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) supplementation on blood and milk enzymatic antioxidant indices, on milk total antioxidant capacity and on productivity in goats. **Animal Feed Science and Technology**, Amesterdã, v.209, n.1, p.90-97, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.001>

PENKA, M. Influence of irrigation on the contents of effective substances in officinal plants. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 73, p.181-198. 1978.

<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1978.73.23>

PLAYÁN, E.; MATEOS, L.; Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.80, p.100–116, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.007>

OZGUVEN, M.; AYANOGLU, F.; OZEL, A. Effects of nitrogen rates and cutting times on the essential oil yield and components of *Origanum syriacum* L. var. *bevanii*. **Journal of Agronomy**, Cairo, v.5, n.1, p.101-105, 2006.

POTERA, C. Tobacco bio-oil kills agricultural pests. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v.119, n.1, p.A18, 2011. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.119-a18a>

RAUT, S.; KARUPPAYIL, S.M. A status review on the medicinal properties of essential oils. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v.62, p.250–264, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>

RIOBA, N.B.; ITULYA, F.M.; SAID, M.; DUDAI, N.; BERNSTEIN, N. Effects of nitrogen, phosphorus and irrigation frequency on essential oil content and composition of sage (*Salvia officinalis* L.). **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, Stuttgart, v.2, n.1, p.21-29, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.01.003>

SAID-AL AHL, H.A.H.; HUSSEIN, M.S. Effect of water stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. **Ozean Journal of Applied Sciences**, Kütahya Merkez, v.3, n.1, p.125-141, 2010.

SAID-AL AHL, H.A.H.; OMER, E.A.; NAGUIB, N.Y. Effect of water stress and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano. **International Agrophysics**, Lublin, v.23, n.3, p.269-275, 2009.

SANGWAN, N.S.; FAROOGI, A.H.A.; SHABID, F.; SANGWAN, R.S. Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.34, n.1, p.3-21, 2001. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1013386921596>

SAVINI, I.; ARNONE, R.; CATANI, M.V.; AVIGLIANO, L. *Origanum vulgare* induces apoptosis in human colon cancer CaCo2 cells. **Nutrition and Cancer**, Philadelphia, v.61, p.381–389, 2009. <http://dx.doi.org/10.1080/01635580802582769>

SEGHATOLESLAMI, M.; FEIZI, H.; MOUSAVI, G.; BERAHMAND, A. Effect of magnetic field and silver nanoparticles on yield and water use efficiency of *Carum copticum* under water stress conditions. **Polish Journal of Chemical Technology**, Pułaskiego, v.17, n.1, p.110-114, 2015. <http://dx.doi.org/10.1515/pjct-2015-0016>

SHAO, H.B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v.331, p.215-225, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crvl.2008.01.002>

SIVAKUMAR, D.; BAUTISTA-BÃNOS, S. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. **Crop Protection**, Guildford, v.64, p.27-37, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.012>

SOUZA, E.L.; STAMFORD, T.L.M.; LIMA, E.O. Sensitivity of spoiling and pathogen–food related bacteria to *Origanum vulgare* L. (*Lamiaceae*) essential oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.37, p.527–532, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822006000400023>

TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L.S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.144, p.54–68, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.019>

TELCI, I.; HISIL, Y. Biomass yield and herb essential oil characters at different harvest stages of spring and autumn sown *Coriandrum sativum*. **European Journal Horticultural Science**, Leuven, v.73, n.6, p.267–272, 2008.

THE UNITED STATES. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soils surveys**. 2.ed. Washington, 1999. 869p.

TIBALDI, G.; FONTANA, E.; NICOLA, S. Growing conditions and postharvest management can affect the essential oil of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) letswaart. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v.34, p.1516–1522, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.05.008>

TRIVINO, M.G.; JOHNSON, C.B. Season has a major effect on the essential oil yield response to nutrient supply in *Origanum majorana*. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.75, n.5, p.520-527, 2000.

TORRES, L.E.; BRUNETTI, P.C.; BAGLIO, C.; BAUZA, P.G.; CHAVES, A.G.; MASSUH, Y.; OCAÑO, S.F.; OJEDA, M.S. Field evaluation of twelve clones of oregano grown in the main production areas of Argentina: identification of quantitative trait with the highest discriminant value. **International Scholarly Research Network Agronomy**, Cairo, v.2012, n.1, p.1-10, 2012.
<http://dx.doi.org/10.5402/2012/349565>

UHLAND, R.E. Rapid method for determining soil moisture. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v.15, p.391-393, 1951.
<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1951.036159950015000C0088x>

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.
<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAMA, J.C.; FEDDESA, R.A.; FEIZIC, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural Water Management**, Oxford, v.95, n.2, p.89-102, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.007>

VISCONTI, F.; MARTÍNEZ, D.; MOLINA, M.J.; INGELMO, F.; MIGUEL DE PAZ, J. A combined equation to estimate the soil pore-water electrical conductivity: calibration with the WET and 5TE sensors. **Soil Research**, Roma, v.52, n.5, p.419–430, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1071/SR13331>

VOGELMANN, E.S.; REICHERT, J.M.; PREVEDELLO, J.; CONSENSA, C.O.B.; OLIVEIRA, A.E.; AWE, G.O.; MATAIX-SOLERA, J. Threshold water content beyond which hydrophobic soils become hydrophilic: The role of soil texture and organic matter content. **Geoderma**, Amesterdã, v.209–210, p.177–187, 2013.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.019>

WASICKY, R. Uma modificação do aparelho de Clevenger para extração de óleos essenciais. **Revista da Faculdade de Farmácia e Bioquímica**, São Paulo, v.1, n.1, p.77-81, 1963.

WEST, P.C.; GERBER, J.S.; ENGSTROM, P.M.; MUELLER, N.D.; BRAUMAN, K.A.; CARLSON, K.M.; CASSIDY, E.S.; JOHNSTON, M.; MACDONALD, G.K.; RAY, D.K.; SIEBERT, S. Leverage points for improving global food security and the environment. **Science**, Nova Iorque, v.345, n.6194, p.325-328, 2014.

<http://www.dx.doi.org/10.1126/science.1246067>

WHALLEY, W.R.; OBER, E.S.; JENKINS, M. Measurement of the matric potential of soil water in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.64, n.13, p.3951–3963, 2013. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ert044>

XU, D.H.; LI, J.H.; FANG, X.W.; WANG, G. Changes in soil water content in the rhizosphere of *Artemisia ordosica*: evidence for hydraulic lift. **Journal of Arid Environments**, Londres, v.69, n.4, p.545–553, 2007.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.11.001>

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BITTELLI, M.; SALVATORELLI, F.; PISA, P.R. Correction of TDR-based soil water content measurements in conductive soils. **Geoderma**, Amesterdã, v.143, n.2, p.133-142, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.022>

CAIRO, P.A.R. **Relações Hídricas de Plantas**. Vitória da Conquista, UESB, 1995. 32p.

CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA, L.F.C. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 240p.

COLLADO, C.E.; GIL, A.; COSENTINO, D.J. Effects of salinity on the essential oil and biomass of two genotypes of oregano (*Origanum* spp.) grown in greenhouses. **Horticultura Argentina**, Buenos Aires, v.31, n.75, p.32-39, 2012.

ECONOMAKIS, C.D.; FOURNARAKI, C.E. Growth and nutrient uptake of *Origanum vulgare* ssp. *Hirtum* in solution culture. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.331, p.345-350, 1993. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.331.47>

HEALY, M.J.R.; The analysis of a factorial experiment with additional treatments. **The Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.47, p.205-206, 1956. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600040120>

MEDICI, L.O.; REINERT, F.; CARVALHO, D.F.; KOZAK, M.; AZEVEDO, R.A. What about keeping plants well watered? **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v.99, p.38–42, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.019>

DIMAKI, C. **Effects of environmental factors on growth, bioactive compounds and cholinergic properties of hydroponically raised *Salvia* and *Narcissus* species**. 2007. Tese (Doutorado em Biologia) – School of Biology, Faculty of Science, Agriculture and Engineering, University of Newcastle, Newcastle, 2007. Disponível em: <<https://theses.ncl.ac.uk/dspace/handle/10443/589>>. Acesso em: 2016-02-18.

KHORASANINEJAD, S.; MOUSAVI, A.; SOLTANLOO, H.; HEMMATI, K.; KHALIGHI, A. The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of Peppermint (*Mentha piperita* L.). **Journal of Medicinal Plants Research**, v.5, n.22, p.5360-5365, 2011.

LOOMIS, W.D.; CROTEAU, R. Biochemistry and Physiology of lower terpenoids. In: Runeckles, V.C.; Mabry, T.J. (Org.). **Terpenoids: Structure, Biogenesis, and Distribution: Recent Advances in Phytochemistry Volume 6**. Oxford, Elsevier, 1974, p. 147-185.

PARDOSI, A.; INCROCCI, L.; INCROCCI, G.; MALORGIO, F.; BATTISTA, P.; BACCI, L.; RAPI, B.; MARZIALETTI, P.; HEMMING, J.; BALENDONCK, J. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. **Sensors**, Lausanne, v.9, p. 2809-2835, 2009. <http://dx.doi.org/10.3390/s90402809>

PARDOSI, A.; INCROCCI, L. Traditional and New Approaches to Irrigation Scheduling in Vegetable Crops. **HortTechnology**, Alexandria, v.21, n.3, p. 309-313, 2011.

PARDOSI, A.; INCROCCI, L.; INCROCCI, G.; MALORGIO, F.; BATTISTA, P.; BACCI, L.; RAPI, B.; MARZIALETTI, P.; HEMMING, J.; BALENDONCK, J. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. **Sensors**, Lausanne, v.9, p. 2809-2835, 2009. <http://dx.doi.org/10.3390/s90402809>

PARDOSI, A.; INCROCCI, L. Traditional and New Approaches to Irrigation Scheduling in Vegetable Crops. **HortTechnology**, Alexandria, v.21, n.3, p. 309-313, 2011.

PEREIRA, S.; FILHO, D.O.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; MARTINS, J.H. Time domain reflectometry in the determination of soil water content. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p. 306-314, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200009>

RASMUSSEN, K.E.; RASMUSSEN, S.; SVENDSEN, A.B. Die qualitativen und quantitativen schwankungen der einzelkomponenten des atherischen oles in den blattern von *Salvia officinalis* L. mit der entwicklung des blattes. **Scientia Pharmaceutica**, Sidney, v.39, n.3, p.159-167, 1971.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri, Manole, 2012. 500p.

ROMERO, A.L.; ROMERO, R.B.; SILVA, E.L.; DINIZ, S.P.S.S.; OLIVEIRA, R.R.; VIDA, J.B. Chemical composition and activity of *Origanum vulgare* essential oil against phytopathogenic fungi. **UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde**, Londrina, v.14, n.4, p.231-235, 2012.

TITO, W.J.Y.; RÍOS, F.M.L. Manual de observaciones fenológicas. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Disponível em: <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/manual_fenologico.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Resultados do teste de uniformidade do sistema de irrigação localizada por gotejamento

Tratamento	Ψ_m (- kPa)	Fase Fenológica	CUC (%)	CUE (%)	Q_{real} (L h ⁻¹)
T01*	19,7	CT	98,45	97,99	1,89
T02	60,8	CT	98,83	98,47	1,90
T03	60,8	FV	98,67	98,54	1,88
T04	60,8	PF	97,86	97,08	1,95
T05	91,2	CT	97,13	96,05	1,93
T06	91,2	FV	96,93	98,58	1,99
T07	91,2	PF	96,89	96,17	1,97
T08	121,2	CT	97,00	96,21	1,94
T09	121,2	FV	97,05	96,16	1,98
T10	121,2	PF	98,82	98,63	1,88
T11	152,0	CT	98,77	98,65	1,97
T12	152,0	FV	98,16	97,56	1,92
T13	152,0	PF	98,33	97,76	1,94

Ψ_m - potencial matricial

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

CUE - Coeficiente de Uniformidade de Wilcox-

Swales Q_{real} - vazão real do gotejador

CT - ciclo total; FV - fase vegetativa; PF - pré-florescimento

* tratamento controle

ANEXO B – Equação de calibração do equipamento Field Scout TDR 100

ANEXO C – Curva de retenção da água em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil

ANEXO D – Coeficientes da Equação de van Genutchen em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, Piracicaba-SP, Brasil

Profundidade (cm)	Θ_r (cm³ cm⁻³)	Θ_s (cm³ cm⁻³)	α (kPa⁻¹)	n	m	$P(X^2 > X^2_c)$
0-20	0,0780	0,4300	0,0360	1,5600	0,3590	0,0302*

Θ_r - umidade volumétrica residual do solo; Θ_s - umidade volumétrica do solo saturado

n & m - parâmetros de regressão da equação

α - parâmetro com dimensão igual ao inverso do potencial matricial da água no solo

*Aderente a 5% de significância (Teste Qui-quadrado)