

**CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE FRUTOS DE
COENTRO SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

THIAGO SANTOS DE PAULA SILVA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
ABRIL - 2017**

**CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE FRUTOS DE
COENTRO SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO HÍDRICA**

THIAGO SANTOS DE PAULA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Cláudia Lopes Prins

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
ABRIL - 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

067/2018

S586 Silva, Thiago Santos de Paula.

Caracterização do óleo essencial de frutos de coentro submetidos à restrição hídrica / Thiago Santos de Paula Silva. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

54 f. : il.

Bibliografia: 40 – 50.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientadora: Cláudia Lopes Prins.

1. Olericultura. 2. Estresse Hídrico. 3. Compostos Voláteis. 4. Coentro.
I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 633.83

CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE FRUTOS DE COENTRO SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO HÍDRICA

THIAGO SANTOS DE PAULA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 12 de abril de 2017

Comissão Examinadora

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Prof^a. Mara de Menezes Assis Gomes (D.Sc., Biologia Vegetal) – UENF

Prof^a. Milena Gonçalves Curcino Vieira (D.Sc., Ciências Naturais) – IFF/FMC

Prof^a. Cláudia Lopes Prins (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

Rendo graças e louvores a Deus pela oportunidade e capacitação para concluir esse trabalho;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense pela concessão de bolsa e também ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal a oportunidade de vaga no curso;

À Professora Cláudia Lopes Prins, minha orientadora, por todo auxílio e principalmente por ter sido minha mentora, guiando-me e dando-me forças para a conclusão;

Ao professor Cláudio Roberto Marciano, por me auxiliar em vários momentos do desenvolvimento do trabalho, bem como os demais membros da comissão examinadora;

Aos companheiros de laboratório, Mariane, Ariane, Lucas e técnica de laboratório Glória por sempre estarem dispostos a me auxiliarem;

A toda minha família, em especial às minhas tias Eliane e Eloisa, à avó Marina e à mãe Marta Meire, pai Aluizo e irmã Sarah Carolina por me darem condições de fazer o curso e me auxiliarem nos momentos mais difíceis da minha vida;

À minha tia Maria Estella por me permitir residir em sua casa durante o curso;

Aos amigos que fiz na Igreja Batista Reformada de Campos e Assembleia de Deus Central, que muitas vezes foram minha companhia;

E a todos quanto me auxiliaram, meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Família Apiaceae	4
2.2 Deficiência hídrica.....	6
2.3 Deficiência hídrica e metabólitos secundários	8
2.4 Óleos essenciais.....	10
2.5 Óleo essencial obtido das sementes de coentro.....	10
2.6 Biossíntese de óleos essenciais	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1 Localização do experimento	14
3.2 Características climáticas	14
3.3 Determinação da curva de retenção de água e caracterização física do substrato	15
3.4 Espécie cultivada, tratamentos e delineamento experimental	17
3.5 Propagação da cultura, tratos culturais e aplicação dos tratamentos	18
3.6 Parâmetros biométricos	19

4.8 pH e condutividade elétrica do substrato	19
4.9 Produção de frutos e extração e determinação do óleo essencial.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. RESUMO E CONCLUSÃO	38
7. REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE.....	51

RESUMO

DE PAULA SILVA, T. S. M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2017. Caracterização do óleo essencial de frutos de coentro submetidos à restrição hídrica. Orientadora: Prof^a Cláudia Lopes Prins.

As hortaliças condimentares, também chamadas “temperos”, estão ligadas diretamente à história mundial e até hoje têm relevância para economia e culinária. A família *Apiaceae* destaca-se entre esse grupo com espécies como *Coriandrum sativum* (coentro). Dos recursos que as plantas necessitam para a produção agrícola, a água é um dos mais importantes. Há evidências de que as concentrações de metabólitos secundários, como compostos voláteis, aumentam de maneira significativa em plantas sob condição de estresse hídrico. A presença de óleos essenciais, substâncias aromáticas e voláteis, permite que tais plantas possam ser utilizadas para dar sabor e aroma aos alimentos. Conhecer o metabolismo destas culturas e suas interações ambientais é essencial para criar sistemas de manejo adequados para produção com aumento da qualidade. Esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e a produção de coentro. As plantas foram cultivadas em vasos de 5,5 L preenchidos com substrato para plantas. A curva de “tensão x umidade” foi previamente obtida e utilizada como base para monitoramento do momento e quantidade da irrigação. Os tratamentos foram constituídos de três tensões, sendo estes: “controle” (0,53 kPa), “moderado” (3,50 kPa) e “severo” (21,85 kPa). Foi utilizado DIC com quatro repetições. Foram avaliados o crescimento da parte

aérea, raízes, produção de frutos e extração do óleo essencial dos frutos, submetidos posteriormente à cromatografia gasosa. O *Coriandrum sativum* apresentou redução considerável do crescimento em resposta ao estresse hídrico “severo”, entretanto a composição do óleo essencial foi alterada quando as plantas foram submetidas ao estresse “mediano”, de maneira que houve aumento de compostos terpênicos.

Palavras-chave: olericultura, estresse hídrico, compostos voláteis, coentro.

ABSTRACT

DE PAULA SILVA, T. S. M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. April, 2017. Characterization of essential oil of coriander fruits submitted to water restoration. Advisor: Prof^a Cláudia Lopes Prins.

Seasoning vegetables, also called "spices", are directly linked to world history and to this day have relevance for economics and cooking. The Apiaceae family stands out among this group with species such as *Coriandrum sativum* (coriander). Of the resources that plants need for agricultural production, water is one of the most important. There is evidence that as concentrations of secondary metabolites, such as volatile compounds, increase significantly in plants under water stress conditions. The presence of essential oils, aromatic and volatile aromas allow such plants to be used to flavor and aroma foods. Knowing the metabolism of crops and their environmental interactions is essential to create adequate management systems for production with increasing quality. This work aims to evaluate the effects of water stress on coriander growth and production. The plants were grown in 5.5 L pots filled with plant substrate. The voltage x moisture curve was previously obtained and used as a basis for monitoring the moment and amount of irrigation. The treatments were constituted by three voltages: "control" (0.53 kPa), "moderate" (3.50 kPa) and "severe" (21.85 kPa). Completely randomized design was used with four replicates. The aerial part growth, the roots, the fruit production and the extraction of the essential oil from the fruits were evaluated, subjecting them to gas chromatography. *Coriandrum sativum* showed a considerable reduction in growth in response to "severe" water

stress, from an essentially altered element when the plants were subjected to "median" stress, in fact with an increase in terpene content.

Keywords: olericulture, water stress, volatile compounds, coriander.

1. INTRODUÇÃO

A Cadeia Produtiva de Hortaliças no Brasil produz 19,62 milhões de toneladas, em uma área total de 656.730 hectares, gerando ainda 2,4 milhões de empregos (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015). Segundo definição da FAO (2011), hortaliças são plantas anuais, bianuais ou perenes cultivadas, em campo aberto ou sob cultivo protegido e que são utilizadas quase exclusivamente como alimento. Ainda, segundo Filgueira (2008), podem ser definidas como grupo de plantas que apresentam as seguintes características: consistência tenra, herbácea; exigência de tratos culturais intensivos, cultivo em áreas menores, em relação às grandes culturas; ciclo biológico curto e utilização na alimentação humana sem exigir prévio preparo industrial. São relevantes para saúde, principalmente por fornecerem vitaminas, sais minerais e fibras, fonte de carboidratos e proteínas (Ministério da Agricultura, 2010). Além de serem fontes de alimentação natural e processada, são utilizadas também para fins condimentares, por possuírem grande quantidade de compostos condimentares (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015).

As famílias *Apiaceae* e *Alliaceae* têm destaque entre hortaliças com uso condimentar. As plantas condimentares, também chamadas de “temperos”, estão relacionadas diretamente à história mundial e até continuam a desempenhar papel fundamental tanto para economia quanto para culinária (Pereira, 2013). O valor condimentar de uma planta está geralmente ligado ao teor de compostos voláteis gerados durante o seu desenvolvimento (Furlan, 1998). Óleos essenciais são uma mistura de compostos com características físico-químicas próprias, que

combinados, conferem ao óleo um odor particular. A diferença dos aromas dos óleos ocorre devido às variações de concentração relativa e volatilidade dos seus constituintes. Podem ser obtidos através de destilação, pressão ou extração por solventes (Figueiredo et al., 2007).

Estes compostos são oriundos de metabolismo secundário das plantas. Os metabólitos primários são importantes para as funções vitais da planta nomeadamente, processos de fotossíntese, respiração, transporte de solutos e assimilação de nutrientes (Engelberth, 2010; Souza et al., 2010). Quanto aos metabólitos secundários, durante muitos anos acreditou-se que estes eram apenas subprodutos do metabolismo primário, não tendo qualquer função na planta. Entretanto, é sabido que sua principal função é de defesa da planta, produzidos muitas vezes em resposta ao estresse fisiológico (Coelho, 2009; Djilani e Dicko, 2012).

A biossíntese de metabólitos secundários é um processo complexo, sujeito à interferência de fatores ambientais (luz, temperatura, solo, água, outros), fitotécnicos (época e forma de colheita, secagem, armazenamento, outros) e os genéticos, que podem influenciar tanto a qualidade quanto a quantidade de produtos secundários (Sangwan et al., 2001; Martins et al., 2006; Gobbo-Neto; Lopes, 2007).

Dos recursos que as plantas necessitam para o desenvolvimento, a água é um dos mais importantes, por ser essencial aos vários processos metabólicos das plantas, sobretudo, durante o período inicial de crescimento. Em resposta ao estresse hídrico, as plantas apresentam declínio na taxa de crescimento, redução da área foliar, do potencial hídrico das folhas, da síntese de proteína, atividade enzimática e hormonal, o acúmulo de solutos e compostos antioxidantes, fechamento dos estômatos, ocorrendo assim a diminuição da difusão de CO₂ para o mesófilo foliar, o que pode gerar redução na taxa fotossintética (Souza et al., 2001).

Segundo Selmar e Kleinwächter (2013), as concentrações de metabólitos secundários aumentam de maneira significativa em plantas sob condição de seca. Pesquisas que avaliaram a resposta de plantas submetidas ao estresse hídrico mostraram significativa influência na produção de compostos secundários (Sangwan et al., 1994; Silva et al., 2002; Carvalho et al., 2003; Bortolo et al., 2009; Alvarenga et al., 2011). O resultado sobre os produtos dos metabólitos

secundários modifica-se com o tipo, a intensidade e a duração do estresse, podendo aumentar ou diminuir o teor de óleos essenciais, de acordo com a espécie de planta submetida ao estresse (Andrade e Casali, 1999). É essencial conhecer o metabolismo destas culturas e suas interações ambientais para realizar práticas adequadas no sistema de produção.

Diante do exposto, os objetivos gerais deste trabalho foram avaliar os efeitos da restrição hídrica sobre o crescimento e a produção de *Coriandrum sativum* e também estes efeitos sobre o óleo essencial de frutos.

Quanto aos objetivos específicos, estes foram verificar o efeito da restrição hídrica sobre a produção de frutos, verificar a influência da restrição hídrica sobre a produção de óleo essencial e determinar a composição de óleo essencial dos frutos de coentro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Família Apiaceae

A família *Apiaceae* abrange aproximadamente 400 gêneros e cerca de 4.000 espécies. No Brasil são relatados 8 gêneros de *Apiaceae*, os quais reúnem, aproximadamente, 100 espécies (Souza e Lorenzi, 2005). Além da cenoura, espécie de maior importância econômica, outra espécie de *Apiaceae* que possui relevante papel agrônomo é o coentro (*Coriandrum sativum*) (Figura 1).



Figura 1: Coentro (*Coriandrum sativum*).

O coentro é nativo da Ásia ocidental, região leste do Mediterrâneo e sul da Europa. Atualmente é cultivado em diferentes países, como Argentina, Brasil, Egito, Espanha, Estados Unidos, Índia, Itália, Marrocos, México, Paquistão, Romênia e outros (Charles, 2013). É típico de clima quente, com relativa intolerância a baixas temperaturas, sendo seu desenvolvimento máximo alcançado em regiões com temperatura média de 20 °C e elevada intensidade luminosa (Donegá, 2009).

Possui ciclo anual e raiz pivotante com formato fusiforme. Apresenta caule ereto de cor verde, o qual pode se tornar violeta na época da floração. Suas folhas são compostas, partidas com disposição alternada, sendo as folhas inferiores do tipo pinatífidas, com diminuição da área foliar. Suas flores são hermafroditas com coloração branca ou rósea e inflorescência do tipo umbela composta (Deiderichsen, 1996). O fruto é um diaquênio com formato ovoide e globoso (Quer, 1993) (Figura 2).



Figura 2. Sementes de Coentro.

No Brasil são utilizadas as folhas do coentro. As variedades mais cultivadas são Verdão, Palmeira, Americano Gigante, Português, Tabocas e Tapacurá. São classificadas em precoces (Verdão, Palmeira e Tabocas) e tardias (Americano, Gigante, Português e Tapacurá). As variedades precoces se desenvolvem adequadamente em clima tropical e têm fase vegetativa entre 30-45

dias e as tardias são mais adaptadas ao clima subtropical/temperado, com sua fase vegetativa entre 50-60 dias (Mari, 2009).

A maioria das plantas aromáticas pertence a três famílias botânicas: *Apiaceae*, *Asteraceae* e *Lamiaceae* (Ortiz, 1992; Bustamante, 1993; Rizzini e Mors, 1995). Na família *Apiaceae*, das espécies mais conhecidas, incluem-se: *Anethum graveolens*, o endro; *Anthriscus cerefolium*, o cerefólio; *Apium graveolens*, o aipo; *Coriandrum sativum*, o coentro; *Cuminum cyminum*, o cominho; *Foeniculum vulgare*, o funcho ou erva-doce; *Petroselinum crispum*, a salsa, e *Pimpinella anisum*, o anis (Pereira, 2013).

Plantas pertencentes a estas famílias produzem elevado número de metabólitos secundários, como os monoterpenos e sesquiterpenos, encontrados nos óleos essenciais das plantas, juntamente com cumarinas e flavonoides (Moreno-Dorado et al 2000).

2.2 Deficiência hídrica

Em uma terminologia física, o termo “estresse” foi gradativamente adotado para descrever qualquer situação imposta que desvie de uma situação ótima e para indicar um estado ou evento induzido no organismo (Larcher, 2006).

Segundo Vellini et al. (2008), dos fatores ambientais que podem causar estresse em uma planta (Souza et al., 2006), a água é o fator mais limitante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Paiva et al., 2005), resultando em grandes perdas de produtividade (Nogueira et al., 2001).

O principal fator que causa o estresse hídrico nas plantas é a seca. Esta pode ser quase permanente em áreas desérticas, sazonal em áreas que possuem estações definidas de chuva ou ainda imprevisíveis como em climas muito úmidos (Kramer, 1980; Araújo Filho, 2002).

De acordo com Larcher (2006) e Taiz e Zeiger (2004), quanto menor for a quantidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial hídrico desenvolvido pelas raízes, o que pode resultar em um gradiente e favorecer a absorção de água. Isso pode enfraquecer as funções vitais como também provocar reações adaptativas que habilitem as plantas a sobreviverem a períodos mais longos de déficit hídrico (Silva et al., 2002).

O déficit hídrico influencia negativamente o crescimento e metabolismo de plantas. Respostas a esse estresse dependem de fatores como espécie, duração, genótipo da planta, fase de desenvolvimento e de fatores ambientais (Bray, 1993). Deste modo, as plantas podem exibir tolerância, resistência ou suscetibilidade (Cambráia, 2005).

O déficit hídrico reduz a fotossíntese, translocação de assimilados e influencia fortemente o particionamento destes entre as partes da planta. Existe maior favorecimento no particionamento de fotoassimilados para as raízes em relação à parte aérea quando as plantas estão sob déficit hídrico (Nilsen e Orcutt, 1996).

O primeiro efeito da falta de água corresponde ao decréscimo no alongamento celular devido à redução na turgescência da célula (Hsiao, 1973; Boyer, 1982; Larcher, 2006), causando redução do desenvolvimento da área foliar (Ludlow; Muchow, 1990) e conseqüentemente, decréscimo na produção e alocação de fitomassa.

As reduções diferenciais nos percentuais de acúmulo de matéria seca das raízes, caules e folhas, estão sujeitas a fatores como estágio de desenvolvimento e sensibilidade de diferentes órgãos, podendo haver direcionamento de uma maior taxa na distribuição de fotoassimilados para as raízes do que para a parte aérea. Raízes podem crescer de maneira superior em relação à parte aérea em situações de estresse hídrico (Ávila et al., 2007).

Outro entrave à produção de fitomassa pode ser atribuído à redução fotossintética, devido à restrição na disponibilidade de CO₂ ocasionada pelo fechamento estomático (Kaiser, 1987; Chaves, 1991; Nogueira et al., 1998), mesmo que o estresse hídrico afete também os componentes não estomáticos da fotossíntese (Larcher, 2006).

De acordo com Nogueira et al. (2005), o efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo e não há um mecanismo universal de tolerância à seca, pois as plantas respondem por meio de vários processos adaptativos a este, como capacidade de reduzir o potencial hídrico, aliada a adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas. Ainda que esses processos de tolerância à seca sejam avaliados, na maioria das vezes isoladamente, as espécies utilizam mecanismos associados para sua sobrevivência em situações desfavoráveis de disponibilidades hídricas.

Muitas plantas podem se adequar ao déficit hídrico através de ajustamento osmótico, por exemplo, que mantém a turgescência celular e, conseqüentemente, o crescimento em baixos potenciais de água nas folhas (Nogueira et al., 2001; Arriel, 2004; Carvalho, 2005).

2.3 Deficiência hídrica e metabólitos secundários

De acordo com Roveda-Hoyos e Fonseca-Moreno (2011), as plantas respondem ao déficit hídrico através de alterações em uma série de processos em nível fisiológico, celular e molecular, e estas alterações podem levar à tolerância ao estresse.

A tolerância das culturas à escassez de água é complexa em nível celular (Foolad et al., 2003; Ashraf; Harris, 2013), demonstrada pelas alterações em nível fisiológico, morfológico e bioquímico que ocasionam redução do crescimento e rendimento das plantas (Boutraa, 2010; Ingram; Bartels, 1996).

Como efeito fisiológico, geralmente ocorre aumento da resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO₂ para a realização do processo de fotossíntese (Nogueira et al., 2001). Outros mecanismos também são relatados como a inibição da atividade da enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase / (Rubisco) (Parry et al., 2002).

Em situação de baixa disponibilidade hídrica, a atividade fotossintética declina paralelamente à diminuição do volume celular, ou seja, ao declínio da turgescência das células (Morais et al., 2003). Além disso, situações de estresse hídrico causam redução do conteúdo de clorofila (Nikolaeva et al., 2010; Beltrano e Ronco, 2008).

Em plantas que apresentam potencial hídrico desfavorável, a manutenção da turgescência das células-guarda utiliza como mecanismo para manter a água no interior da planta o fechamento dos estômatos (Hsiao, 1973). Dessa forma, haverá alterações em processos metabólicos tais como: o aumento da atividade de enzimas hidrolíticas, alocação de fotoassimilados e outros (Kudrev, 1994), o que levará ao comprometimento da habilidade reprodutiva da planta (Larcher, 2006; Chaves et al., 2002).

Todos esses fatores somados trarão uma redução geral da produtividade, expressa pela queda na taxa fotossintética. A regulação estomática é outra linha

de defesa das plantas submetidas a condições de deficiência hídrica (Mattos, 1992) e não só atua como um recurso para prevenir a dessecação do tecido, como também tem a capacidade de variar a resistência da difusão de CO₂, a fim de aumentar a relação entre a taxa média de assimilação e a taxa média de transpiração da planta (Robelo, 1982).

Entre os solutos osmoprotetores presentes nesse processo, destacam-se a glicina betaína, o manitol, o pinitol e a prolina (terpenóide) (Bray et al., 2000). Prolina é um dos 20 aminoácidos presentes nas proteínas de todos os organismos vivos e tem sido relatada como um importante osmoprotetor em muitas plantas (Molinari et al., 2007).

Tem sido demonstrada a relação direta entre a redução da concentração intercelular de CO₂ e o fechamento dos estômatos. Este pode causar o decréscimo na assimilação do CO₂ e no rendimento quântico do Fotossistema II (Baker, 1991). Entretanto, também tem sido relatado que, sob deficiência hídrica severa, além das restrições estomáticas no suprimento de CO₂, podem ocorrer limitações em componentes não estomáticos como danos nos centros de reação do Fotossistema II, os quais poderiam apresentar reversão parcial após reidratação (Angelopoulos et al., 1996). É sabido que aproximadamente 98% de toda água absorvida pelos vegetais se perde através da transpiração durante as fases fenológicas. Assim, o fluxo de vapor d'água e CO₂ e a manutenção da temperatura interna da folha no processo de transpiração, são fundamentais para o desenvolvimento completo do vegetal e quaisquer alterações podem originar danos na produção.

Em plantas herbáceas e arbustivas, os terpenos tendem a aumentar sob condições de estresse (Marchese et al., 2010). O estresse hídrico eleva o percentual de óleo essencial em plantas medicinais e aromáticas, pois nestes casos, mais metabólitos secundários são produzidos. Farahani et al. (2009) relataram que o estresse hídrico teve efeito significativo sobre a produção e percentual de constituintes de óleo de calêndula. Os resultados mostraram que a maior produção foi obtida sob condições não secas e maior rendimento de óleo foi obtido sob condições de seca.

A deficiência hídrica tem se mostrado benéfica para o acúmulo de compostos ativos, descrito em trabalhos com *Apiacea* e especificamente com a

espécie *Coriandrum sativum* (Meira et al., 2012; Petropoulos et al., 2008; Saxena et al., 2010; Farahani et al., 2008a; Hassan et al., 2014).

2.4 Óleos essenciais

Óleos essenciais são compostos naturais incolores ou amarelados, instáveis na presença de luz, ar, temperatura, umidade e metais. São caracterizados por um forte odor e sintetizados por plantas aromáticas. Apresentam propriedades químicas específicas como: alta volatilidade e baixa solubilidade em água, tendo como precursor o isopentenil difosfato (IPP). Óleos essenciais, juntamente com outras classes de compostos são classificados como metabólitos secundários (Freitas et al., 2004; Machado e Fernandes Junior, 2011).

O metabolismo secundário realiza uma função importante na influência mútua das plantas com o meio ambiente. Os metabólitos resultantes desse metabolismo apresentam função como a defesa contra ataques de patógenos, herbívoros, competição entre plantas e atração de organismos benéficos como polinizadores e outros (Peres, 2004).

Os óleos essenciais são misturas complexas, constituídos de compostos que podem pertencer a variadas classes, entretanto, a maioria dos óleos essenciais constitui-se predominantemente de derivados terpenoides. Os terpenos encontrados com maior frequência nos óleos essenciais são os monoterpenos e sesquiterpenos, os quais conferem aroma característico às folhas e outras partes da planta. Os terpenoides ou isoprenoides são assim chamados devido à unidade precursora derivada de uma molécula de cinco carbonos isopentenil difosfato (IPP) (Rodríguez-Concepción e Boronat, 2002).

2.5 Óleo essencial obtido das sementes de coentro

O óleo essencial do fruto de coentro é utilizado em preparações farmacêuticas como flavorizante, edulcorante em medicamentos, bebidas alcoólicas e também perfumaria (Costa, 2002). Além disso, ele pode ser utilizado no tratamento de dores articulares e reumatismo com efeito antipirético, anti-helmíntico e analgésico. Diversas pesquisas mostram que o coentro também

apresenta atividades como hipolipemiante, antimicrobiana, hipoglicemiante, anti-hipertensiva e diurética (Silva et al., 2012).

O óleo extraído de sementes inteiramente maduras e secas é um líquido incolor ou amarelo pálido com um odor característico e um sabor suave, doce, quente e aromático. Seu principal componente é o linalol (70%) e como componentes minoritários têm-se α -pineno, β -pineno, dipenteno, *p*-cimeno, dodecanal, dodecanol, *n*-tetradecanol, decanal, geraniol e cânfora (Dias, 2011). Na Figura 3 são apresentadas as estruturas de alguns compostos do óleo essencial extraído de sementes de coentro.

O óleo essencial obtido das sementes possui alto rendimento, de 2 a 7%. Azambuja (2015) também descreve outros elementos em sua composição, como apiol, miristicina e o éter fenólico alil-4-tetrametóxi-1,2,3,6-benzeno.

Os componentes do óleo essencial de coentro encontrados por Neffati e Marzouk (2008); Bhuiyan et al. (2009); Msaada et al. (2007); Cadwallader et al. (1999); Shahwar (2012) foram listados na Tabela 1 no Apêndice.

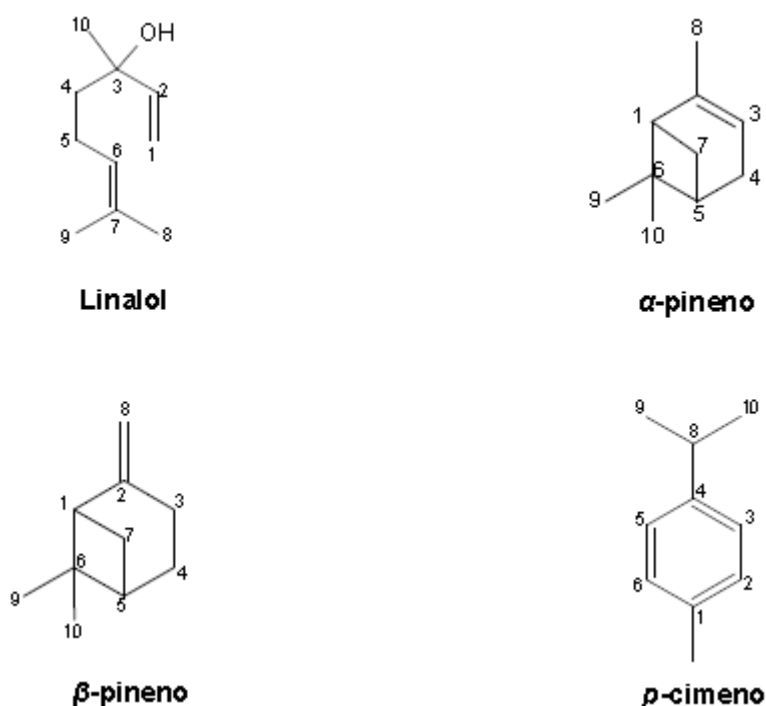


Figura 3: Principais compostos do óleo essencial de fruto de *Coriandrum sativum*.
Fonte: Bassetti (2015).

2.6 Biossíntese de óleos essenciais

Os metabólitos secundários podem ser divididos em três grandes grupos de acordo com a sua biossíntese: terpenoides, alcaloides e compostos fenólicos. Terpenoides produzidos pelo metabolismo secundário são oriundos da molécula precursora de cinco carbonos, o isopentenil difosfato (IPP). Os compostos fenólicos conhecidos podem ser tanto sintetizados pela via do ácido chiquímico quanto pela via do acetato/malonato (Croteau et al., 2000).

Os terpenoides ou isoprenoides formam uma classe de produtos naturais oriundos de plantas com maior variedade estrutural e funcional, sendo sua maioria composta de metabólitos secundários. Existem duas vias capazes de sintetizar os precursores universais dos isoprenoides, isopentenil difosfato (IPP) e seu isômero dimetilalil difosfato (DMAPP). No citosol, IPP é gerado pela via do ácido mevalônico (MVA) e através da ação da enzima IPP-isomerase pode originar DMAPP, de forma que a síntese nos cloroplastos ocorra via do 2C-metil-Deritritol-4-fosfato (MEP) (Phillips et al., 2008).

A síntese de ácido mevalônico a partir de 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA é catalisada pela enzima 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA redutase (HMGR) (etapa reguladora desta via). A conversão de MVA em IPP em seguida ocorre através de ações enzimáticas por MVA quinase, fosfomevalonato quinase, e pirofosfomevalonato descarboxilase. Os isoprenoides plastídicos são sintetizados pela via do metileritritol fosfato. Assim, ocorre a condensação de uma molécula de piruvato com uma molécula de gliceraldeído-3-fosfato, gerando 1-deoxi-D-xilulose 5-fosfato (DXP), seguido do rearranjo e redução para MEP, pela enzima DXP redutoisomerase (DXR). Através de reações posteriores, IPP e DMAPP são gerados como produtos finais (Enfissi et al., 2005).

Os monoterpenos são constituintes da essência volátil de flores e óleos essenciais oriundos de plantas medicinais e ervas aromáticas, justificando assim, sua importância para a indústria de perfumes e aromatizantes. Geraniol, mentol, linalol e o citral são exemplos de monoterpenos (Croteau et al., 2000).

Existem muitas plantas das quais são aproveitadas as partes aromáticas: folhas (como capim-limão, cidreira, alecrim, manjerona, orégano, manjeriço, hortelã, salsa, louro, vinagreira, cebolinha e salsa); flores (cravo-da-índia, açafraão,

lavanda e flor de laranjeira), frutos (pimentas, anis-estrelado, tamarindo e pimentão), cominho, erva-doce e gergelim), nozes (noz-moscada) (Pereira, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA-UENF), situada na cidade de Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro (latitude 21° 76' 10" S e longitude 41° 28' 90" O), no período de agosto a novembro de 2016.

De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da região é classificado como Tropical Úmido (Aw). É caracterizado por inverno seco, verão chuvoso e temperaturas superiores a 18 °C no mês mais frio do ano. A amplitude térmica anual é baixa, tendo média de temperatura anual próxima a 24 °C e temperatura média do mês mais frio próxima de 21 °C. A precipitação pluviométrica média se encontra próxima de 1023 mm (Mendonça et al., 2007).

3.2 Características climáticas

Os dados relativos à temperatura e umidade do ar no período do experimento foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a partir dos dados da Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia Campos A607 – Campos dos Goytacazes – RJ (Figura 4).

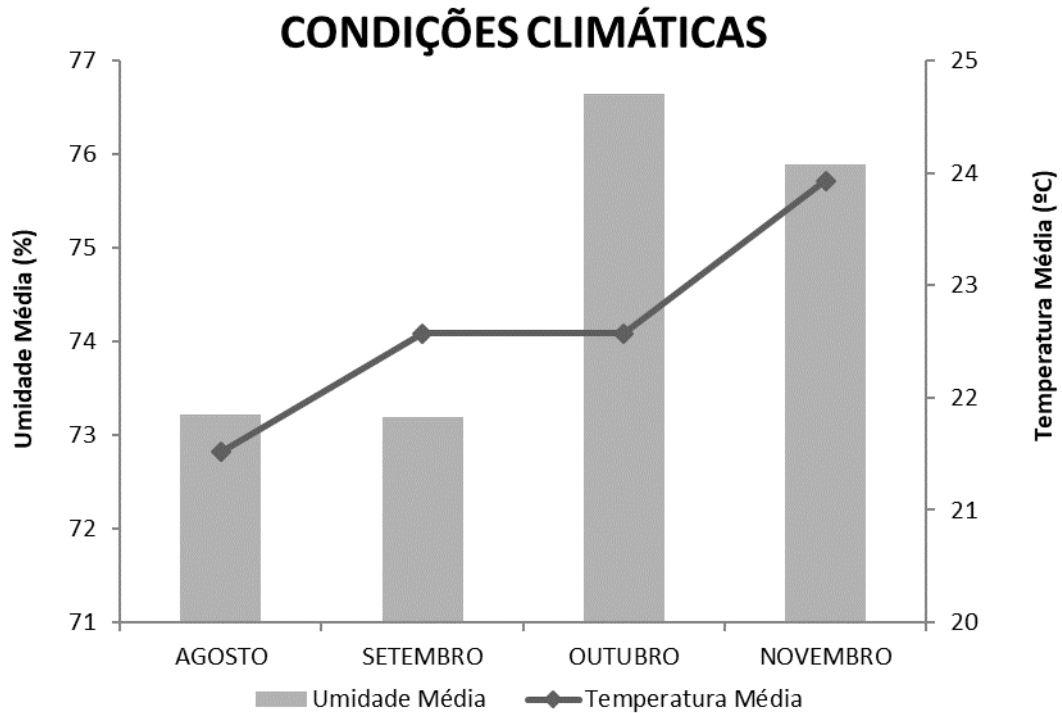


Figura 4: Temperatura (°C) e umidade (%) média mensal do período experimental de agosto a novembro de 2016. Campos dos Goytacazes – RJ.

3.3 Determinação da curva de retenção de água e caracterização física do substrato

A curva de retenção de água (CRA) do substrato (Figura 5), utilizada como base para monitoramento do momento e quantidade de irrigação na aplicação dos tratamentos, foi determinada em vasos plásticos de 1 L preenchidos com o mesmo substrato utilizado no experimento, anteriormente à sua implantação. Os vasos foram preenchidos com substrato seco ao ar (com umidade higroscópica, em equilíbrio com o ar atmosférico). Foram coletadas 3 amostras do substrato e levadas ao laboratório para a determinação do fator de correção de umidade (f_c), obtido pela divisão da massa das amostras originais pela massa após secagem em estufa a 105 °C por 48 horas.

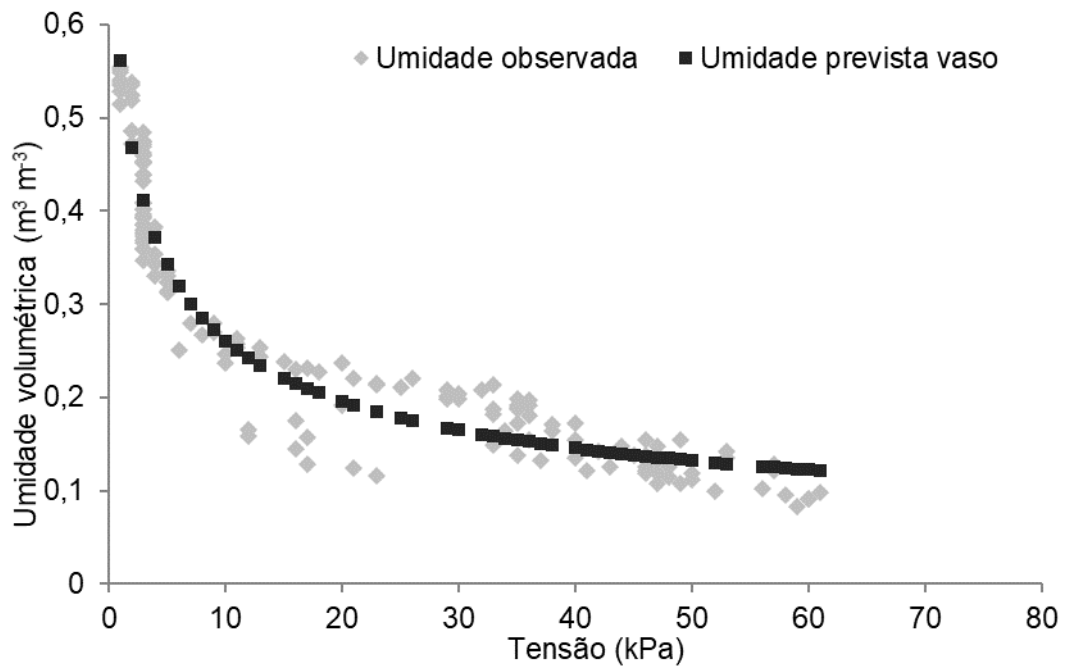


Figura 5. Curva de retenção de água do substrato utilizado para cultivo de coentro (*Coriandrum sativum*).

A partir dessas amostras, a densidade de partículas de substrato (d_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool, adaptada de Embrapa (1997).

A massa de substrato seco (m_{ss}) no vaso foi obtida dividindo-se sua massa seca ao ar (m_{sar} - obtida no momento do preenchimento por pesagem em balança digital) por fator de correção. A densidade do substrato (d_s) foi obtida dividindo-se a m_{ss} pelo volume do vaso efetivamente ocupado pelo substrato (v_s). A porosidade total do substrato (pt - ou seja, a proporção desse volume que não é ocupado pelas partículas) foi calculada (Embrapa, 1997)

$$pt = 1 - d_s / d_p.$$

O valor da pt corresponde ao o máximo valor da umidade volumétrica do substrato quando este estiver saturado (uv_s).

Na sequência, o substrato foi quase saturado com água através da imersão deste em recipiente contendo água na altura de dois terços da altura dos vasos. Após 24 horas os vasos foram retirados para que parte da água fosse drenada livremente. Para evitar evaporação a superfície superior do vaso foi recoberta com filme plástico. Com a completa drenagem dessa água “gravitacional”, o

substrato atinge a condição de umidade chamada de “capacidade de vaso” ou “capacidade de recipiente”.

Estabelecida essa condição de umidade, foi retirada a cobertura plástica do vaso e obtida, por pesagem, a massa do substrato e, por diferença, também a massa de água nele retida. Sendo conhecida a densidade da água, o volume de água retida (v_a) pôde ser calculado e, então, dividindo-se v_a por v_s , obteve-se a umidade volumétrica na “capacidade de vaso” (uv_{cv}). A diferença entre p_t (ou uv_s) e uv_{cv} corresponde à proporção de poros do substrato livres de água (ou porosidade de aeração) na “capacidade de vaso” (p_{ar}). A Tabela 2 apresenta os valores dos atributos físicos do substrato obtidos a partir da caracterização acima descrita.

Tabela 2. Atributos físicos do substrato utilizado no experimento: densidade de partículas (d_p), densidade aparente (d_s), porosidade total (p_t), porosidade de aeração (p_{ar}) e umidade volumétrica na capacidade de vaso (uv_{cv}).

Atributo	d_p ----- (kg dm ⁻³) -----	D_s -----	P_t -----	p_{ar} ----- (dm ³ dm ⁻³) -----	uv_{cv} -----
Valor	1,50	0,33	0,78	0,18	0,60

Com o substrato ainda na “capacidade de vaso”, tensiômetros de punção (de massa previamente conhecida) foram introduzidos nos vasos para monitoramento diário da tensão de água, ao mesmo tempo em que a massa do substrato era monitorada por pesagem em balança digital. Durante 20 dias, a evaporação de água levou à diminuição da massa do substrato (e de sua umidade volumétrica - uv) e à elevação da tensão (τ) lida nos tensiômetros. Assim, o conjunto de pares de dados τ - uv foi utilizado para expressar a curva de retenção, apresentada na Figura 4.

3.4 Espécie cultivada, tratamentos e delineamento experimental

A espécie avaliada foi a hortaliça condimentar da família Apiaceae, *Coriandrum sativum* cultivar Verdão Super (Coentro), cultivada em vasos plásticos de 5,5 L preenchidos com o substrato para plantas Basaplant®. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada

parcela foi constituída por 2 vasos contendo 15 plantas cada um. Os tratamentos foram constituídos de três níveis de disponibilidade hídrica: (1) Tensão Controle - ou sem restrição hídrica (correspondente a 0,53 kPa - ou umidade de $0,60 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$); (2) Tensão Moderada - ou com restrição hídrica intermediária (3,50 kPa - ou umidade de $0,40 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$); e (3) Tensão Severa - ou com restrição hídrica severa (21,85 kPa - ou umidade de $0,20 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$). Esses tratamentos foram estabelecidos com base na curva de retenção de água do substrato previamente determinada. A quantidade de água necessária para atingir a umidade correspondente à tensão predeterminada era fornecida diariamente após a pesagem dos vasos.

3.5 Propagação da cultura, tratos culturais e aplicação dos tratamentos

A propagação do coentro foi realizada através de sementes com produção de mudas em bandejas de poliestireno com 200 células. Aos 28 dias após a semeadura (DAS) as mudas foram transplantadas para vasos de 5,5 L preenchidos com o substrato. Durante o desenvolvimento inicial das mudas até o início dos tratamentos os vasos foram irrigados diariamente com 0,5 L de água.

Após 21 dias do transplante foi feito desbaste deixando 15 plantas por vaso. Ao longo do período de desenvolvimento das plantas foram realizadas 21 aplicações de fertilizante mineral misto (Florisol, solução, N 5,50%, P₂O₅ 1,70%, K₂O 5,60%, Ca 3,70%, Mg 0,80%, B 0,01%, Cu 0,01%, Fe 0,04%, Mn 0,01%, Mo 0,002%, Ni 0,002%, Zn 0,01%) na concentração de 2 mL de concentração para 1000 mL de água, conforme recomendação do fabricante. Os tratamentos tiveram início aos 51 DAS e finalizados aos 113 DAS, com o término da colheita de frutos.

A partir do início dos tratamentos os vasos foram monitorados diariamente para a verificação da umidade e a determinação do volume de água a ser aplicado, visando manter o nível de disponibilidade hídrica previamente estabelecido. Para isto, as massas do conjunto vaso-substrato-plantas foram medidas utilizando balança digital, sendo o volume de água a ser aplicado em cada vaso calculado pela diferença entre a massa atual e a massa estabelecida para o tratamento em questão.

Com o término da colheita de frutos, foram determinados parâmetros biométricos do coentro, o pH e condutividade elétrica do substrato, a produção de

frutos e parâmetros referentes à extração do Óleo Essencial. Os parâmetros biométricos foram: Massa Seca de Ramos, Massa fresca de raízes, Massa seca de raízes, Volume de Raízes. Já os referentes à extração de Óleo essencial foram Massa fresca de frutos, Massa seca de frutos e Composição química.

3.6 Parâmetros biométricos

Com o término da colheita de frutos, a parte aérea foi cortada rente ao coleto, acondicionado em saco de papel, levada para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, por 72 horas e levadas para determinação de massa seca.

O sistema radicular foi lavado utilizando jato de água e peneira de crivo fino, acondicionadas em papel e posteriormente levadas para determinação de massa fresca em balança. A determinação do volume de raízes foi feita inserindo as raízes em proveta graduada contendo volume conhecido de água. Por diferença foi obtido o volume de raízes, pela equivalência de unidades, sendo $1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$ (Basso, 1999).

Para determinação de massa seca de raízes, o material foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C por 72 horas e pesado em balança analítica de precisão.

4.8 pH e condutividade elétrica do substrato

Ao final do experimento, foi realizada a determinação de pH e condutividade elétrica (CE) do substrato utilizando o método “lixiviado” ou *pour through*. Para tal, foram coletadas amostras do substrato de cada repetição, transferidas para vasos plásticos e estes vasos foram colocados em um recipiente contendo água destilada até dois terços da altura dos vasos. As amostras permaneceram por 24 horas cobertas com filme plástico.

Após este período as amostras foram retiradas do recipiente, deixando-se escoar o excesso de água. Em seguida cada vaso foi colocado sobre um copo coletor de forma que ao aplicar 100 mL de água destilada fosse coletada a água drenada. Ao final do processo foram feitas as leituras de pH e CE utilizando aparelho peagametro condutivímetro (AZ modelo 86505).

4.9 Produção de frutos e extração e determinação do óleo essencial

A colheita de frutos foi realizada manualmente, com início aos 87 DAS, à medida que houve amadurecimento dos mesmos, iniciada aos 87 DAS. O amadurecimento foi caracterizado pela mudança da coloração, sendo considerados maduros os que apresentavam coloração rosa (Msaada et al. 2007).

Os frutos foram identificados conforme o tratamento, acondicionados em sacolas plásticas, levados para pesagem, determinando massa fresca de frutos e em seguida armazenados em freezer (-18 °C) para posteriormente serem submetidos à extração do óleo essencial.

O óleo essencial foi extraído dos frutos através da técnica de hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger (Marconi, modelo MA 553). A extração foi realizada durante 2 horas contadas a partir do início do acúmulo do óleo no tubo coletor do aparelho. Após a extração o óleo essencial foi coletado com pipeta graduada, onde foi determinado o volume.

A massa de óleo essencial obtida foi determinada em balança analítica e expressa em percentual de óleo obtido em relação à massa vegetal utilizada para extração. Após pesagem o óleo foi armazenado em frasco de vidro envolto em papel alumínio e armazenado em freezer (-18 °C) até a realização da análise de composição química.

A análise qualitativa do óleo e determinação do percentual de compostos presentes no mesmo foi realizada em cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (GC-MS) Shimadzu, modelo GC17A, com detector seletivo de massa, modelo QP5050 (Shimadzu), coluna Elite-5, equivalente a DB-5 (espessura do filme de 0,25 µm), de 30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno.

As condições foram: temperatura do injetor de 220 °C, temperatura inicial da coluna de 50 °C, temperatura final da coluna 200 °C, taxa de 4 °C por minuto, pressão inicial 67,4 kPa, temperatura do detector 290 °C e *solvent cut* de 3 minutos. A identificação dos compostos foi feita por meio da comparação dos espectros de massas das amostras, com os existentes no banco de dados do aparelho.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos em 5% de probabilidade pelo teste F, procedeu-se o teste de médias Tukey em 5%. Foi utilizado o software Sisvar (Ferreira, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento “severo” reduziu a massa seca da parte aérea das plantas em 66,44%, comparada à produção média dos demais tratamentos “controle” e “moderado”, com massas de 2,550 e 2,617 g/planta, respectivamente, os quais não apresentaram diferença significativa entre si (Figura 6). Isso pode ser explicado por um dos principais efeitos originários do estresse hídrico, que é a limitação da fotossíntese (Sourour et al., 2017). A redução da taxa fotossintética está associada à redução do CO₂ interno, resultante do fechamento estomático, inibição de enzimas fotossintéticas e da síntese de ATP (Arasimowicz e Floryszak-Wieczorek, 2007).

O estresse hídrico reduz principalmente a eficiência fotoquímica do Fotossistema II através da diminuição do transporte de elétrons, remoção de proteínas externas e liberação de íons cálcio e magnésio da sua ligação (Barta et al, 2010; Zlatev e Lindon, 2012), compreendendo ainda a inativação da atividade da enzima Rubisco (Bota et al., 2004), observada em situações de estresse muito severo. Bettaieb (2009) descreve efeito depressivo ao crescimento mais proeminente em estresse severo comparado a mediano em estudo com plantas de *Salvia* (*Salvia officinalis*).

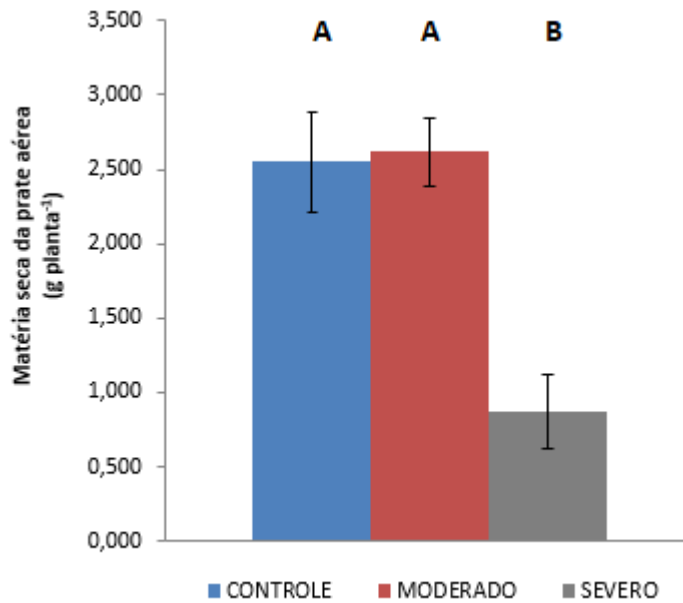


Figura 6. Matéria seca (g planta^{-1}) da parte aérea de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. ($n=4$). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

As massas fresca e seca de raízes também foram influenciadas pelo estresse hídrico. A massa fresca nos tratamentos “moderado” e “severo” foi, respectivamente, 58,75% e 72,92% menor comparada ao tratamento “controle” (1,023 g/planta) (Figura 7). Quanto à massa seca, o tratamento “severo” apresentou redução de 65,87% em comparação à média dos tratamentos “controle” e “moderado” (0,222 e 0,112 g/planta), os quais não diferiram entre si (Figura 8 e Tabela 5).

Tabela 4: Médias (\pm desvio padrão) de massa seca da parte aérea (g/planta), massa seca de raízes (g/planta), massa seca de frutos (g/planta) e volume de raízes (cm³) em resposta ao estresse hídrico (controle – sem estresse; moderado e severo).

TRATAMENTOS	Massa seca da parte aérea	Massa seca de raízes	Massa seca de frutos	Massa Seca Total (planta)	Volume de raízes
	g/planta				cm ³
CONTROLE (0,53 Kpa)	2,550 \pm 0,332	0,222 \pm 0,40	44,901 \pm 6,502	47,673 \pm 6,788	1,333 \pm 0,902
MODERADO	2,617 \pm 0,226	0,112 \pm 0,021	25,523 \pm 6,459	28,252 \pm 6,606	1,000 \pm 0,707
SEVERO	0,867 \pm 0,249	0,057 \pm 0,024	9,890 \pm 4,386	10,814 \pm 4,613	0,500 \pm 0,235

Tabela 5: Médias (\pm desvio padrão) de raiz/parte aérea (g/g), raiz/massa seca (g/g), parte aérea/massa seca (g/g) e massa seca de frutos/massa seca total (g/g) em resposta ao estresse hídrico (controle – sem estresse; moderado e severo).

TRATAMENTOS	Raiz/parte aérea	Raiz/Massa seca	Parte aérea/Massa seca	Massa seca frutos/Massa seca total
	g/g			
CONTROLE (0,53 Kpa)	0,087 \pm 0,006	7,979 \pm 0,510	92,021 \pm 0,510	92,021 \pm 0,510
MODERADO	0,043 \pm 0,008	4,099 \pm 0,786	95,901 \pm 0,786	95,901 \pm 0,786
SEVERO	0,064 \pm 0,010	5,983 \pm 0,926	94,901 \pm 0,786	94,017 \pm 0,926

Tabela 6: Médias (\pm desvio padrão) de volume de água aplicado/planta (L), massa seca/volume de água aplicado (g/L), pH e Condutividade elétrica (μ s) em resposta ao estresse hídrico (controle – sem estresse; moderado e severo).

TRATAMENTOS	Volume aplicado/planta	Massa seca/volume aplicado	pH	CE
	L	g/L	-	μ s
CONTROLE (0,53 Kpa)	1,790 \pm 0,076	26,601 \pm 3,282	6,236 \pm 0,095	649,125 \pm 781,054
MODERADO	0,911 \pm 0,500	30,884 \pm 6,485	5,955 \pm 0,103	1756,125 \pm 559,403
SEVERO	0,266 \pm 0,062	40,682 \pm 12,599	5,589 \pm 0,215	4228, 625 \pm 1196,494

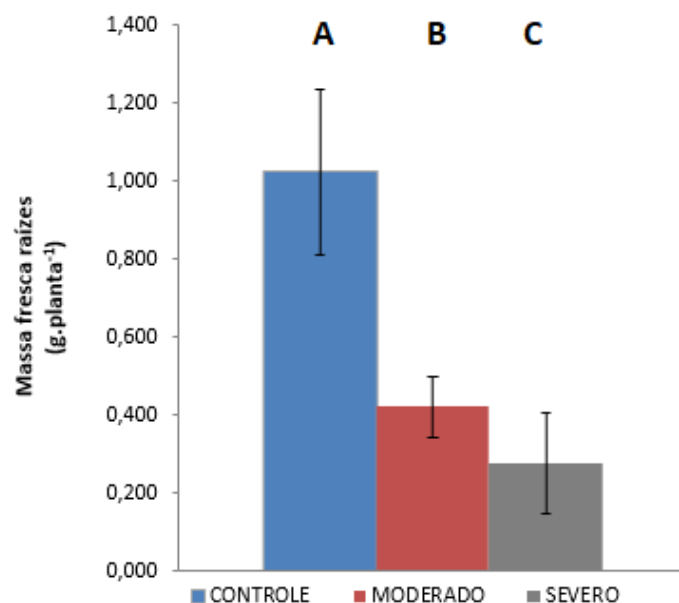


Figura 7. Matéria fresca (g. planta⁻¹) de raízes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

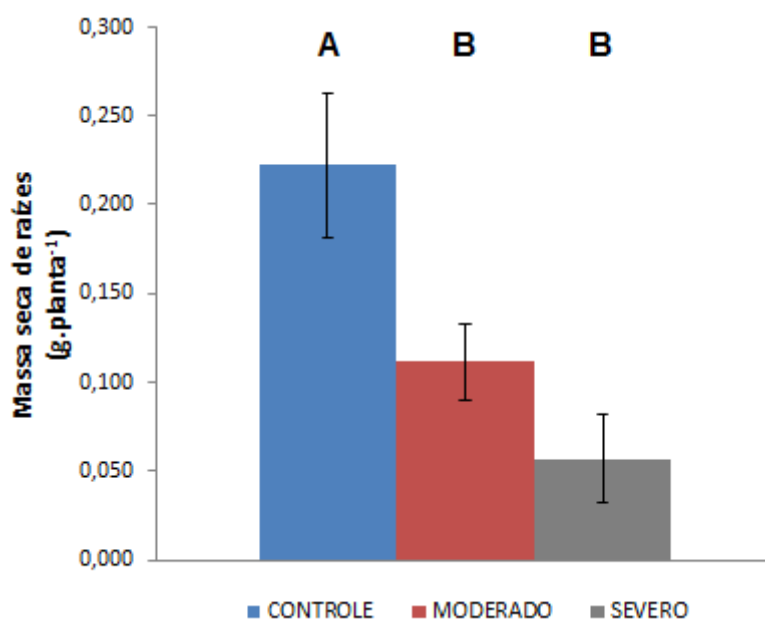


Figura 8. Matéria seca (g. planta⁻¹) de raízes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

Em estádios prolongados de estresse hídrico, tanto a plasticidade nas relações hídricas, como também no crescimento radicular ocorrerá durante o déficit hídrico, causando redução no comprimento da raiz (crescimento reduzido, aumento da mortalidade) em partes mais secas e aumento nas partes mais úmidas no solo (Huang e Eissenstat, 2000, Sekhon et al., 2010). Sob efeitos de estresse hídrico, as plantas podem desenvolver raízes suberizadas curtas, à medida que as camadas superiores do solo se tornam mais secas (Gliński e Lipiec, 1990), o que ajuda a sobreviver à seca ao reduzir a perda de água das raízes das plantas.

A relação entre sistema radicular e parte aérea representa o equilíbrio da partição de fotoassimilados entre a parte aérea e a parte subterrânea (Piana et al., 2005). Houve diferença entre todos os tratamentos, sendo o tratamento “controle” o que apresentou a maior relação (0,087), seguido do tratamento “severo” (0,064) e “moderado” (0,043), respectivamente (Figura 9).

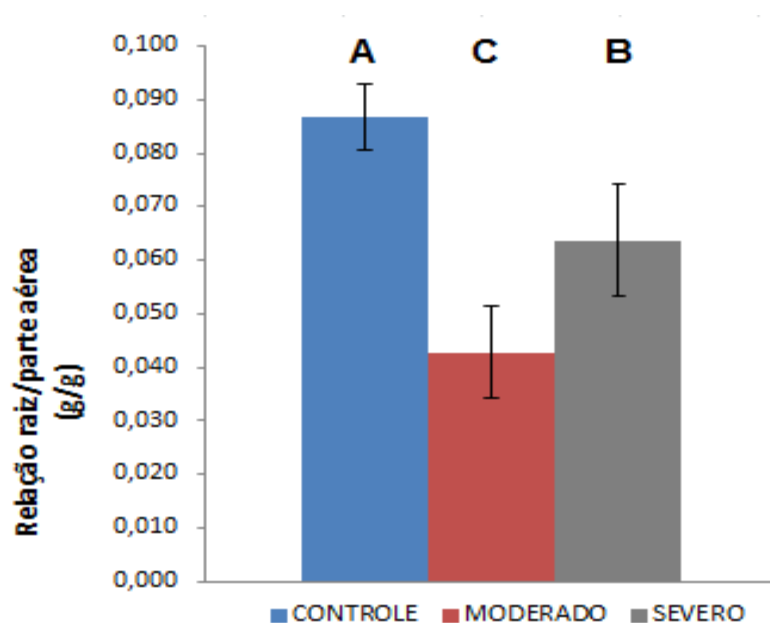


Figura 9. Relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos em relação à eficiência do uso de água (Figura 11). A eficiência do uso da água, a qual é definida como a quantidade de biomassa ou grão produzido por unidade de água utilizada, propicia uma avaliação rápida de quão bem a água disponível pode ser convertida em grão e é o indicador básico para avaliar a eficácia de economia de água (Sekhon et al., 2010). Esta medida está frequentemente associada à resistência à seca e melhora do rendimento das culturas sob estresse (Blum, 2005).

Devido à redução da quantidade de água de boa qualidade para a agricultura, é essencial maximizar a eficiência do uso da água, ou seja, a quantidade de cultura por gota (Vadez et al., 2012?).

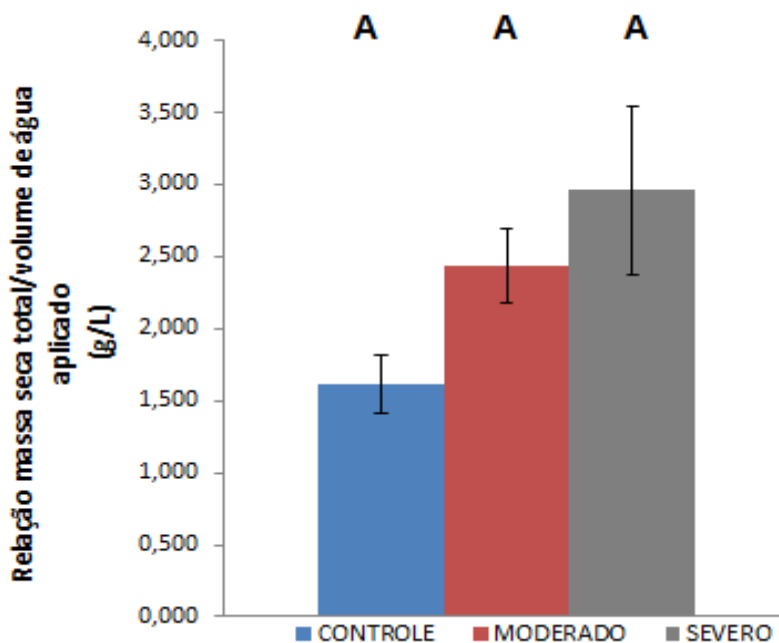


Figura 11. Relação massa seca/volume água aplicado (g/L) de Coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

Portanto, a eficiência do uso da água deve ser considerada na produção da cultura, visto que em parâmetros como massa seca de frutos, o tratamento “controle” não diferiu do tratamento “moderado”, possuindo a mesma eficiência do uso de água.

De acordo com a finalidade da produção, em condições de campo poderia resultar em economia de água.

Para condutividade elétrica (CE) e pH do lixiviado obtido do substrato, os tratamentos “controle” e “moderado” não apresentaram diferença estatística entre si, porém houve entre estes e o tratamento “severo”. Este tratamento apresentou o maior valor de CE (Figura 12) e também de pH (Figura 13), respectivamente 4228,625 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e 5,6, assim, com o aumento do estresse hídrico houve conseqüentemente aumento da acidez do solo e da condutividade elétrica.

Estes resultados podem decorrer do acúmulo de sais em função dos tratamentos com menor disponibilidade hídrica, conseqüentemente, maior CE (Dias e Blanco, 2011).

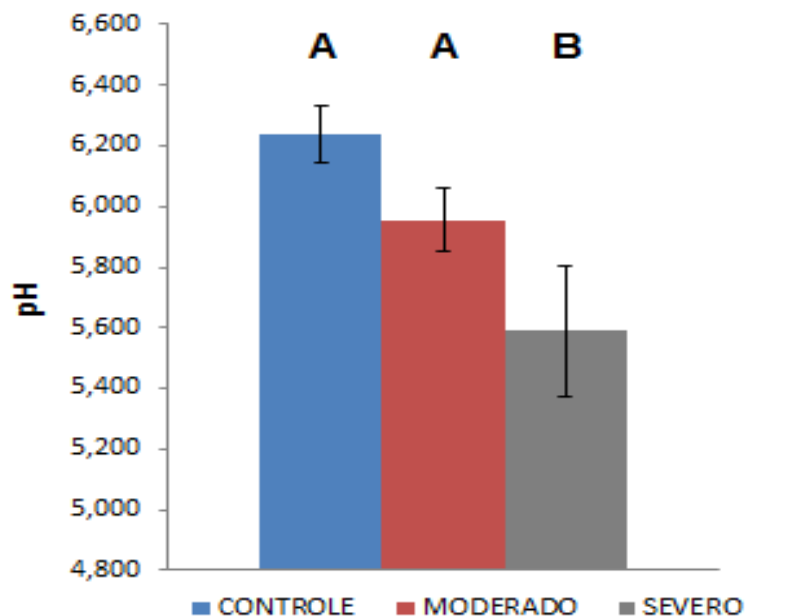


Figura 12. pH do lixiviado do substrato utilizado para cultivo de Coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa ; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

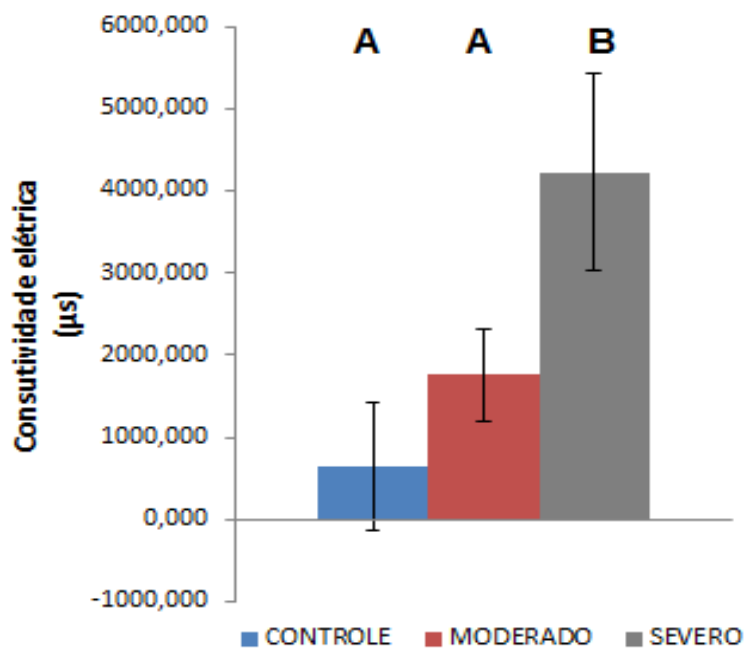


Figura 13. Condutividade elétrica do lixiviado do substrato utilizado para cultivo de Coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

Houve diferença estatística entre os três tratamentos em relação à matéria seca de frutos. Para o tratamento “moderado” e “severo” a redução foi de 43,16% e 77,97%, respectivamente, em relação ao tratamento “controle” (44,90 g/planta) (Figura 14).

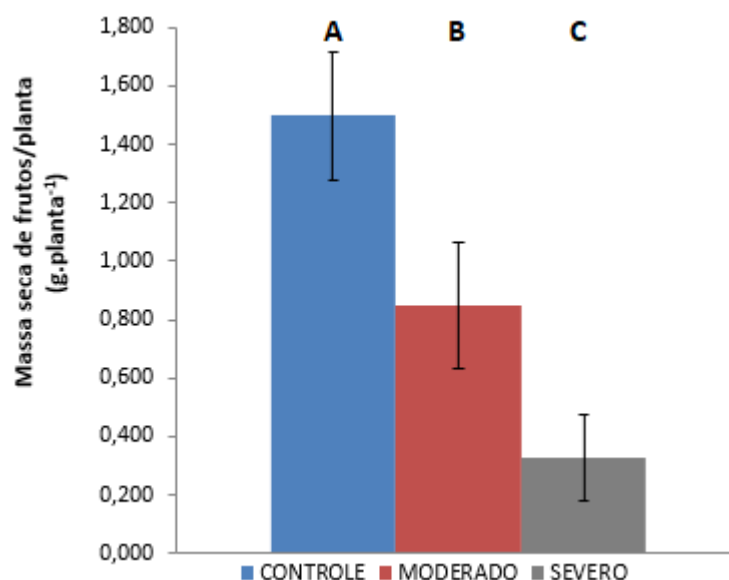


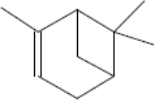
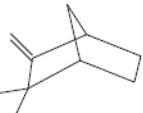
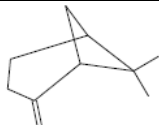
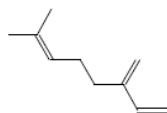
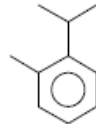
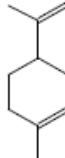
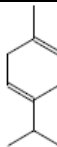
Figura 14. Matéria seca de frutos/planta (g. planta⁻¹) de Coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa) aos 113 DAS de desenvolvimento. (n=4). Médias (barras) seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5%.

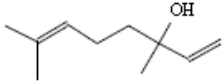
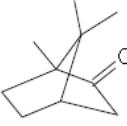
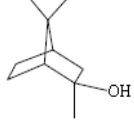
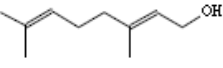


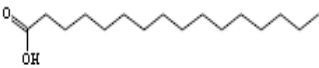
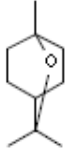
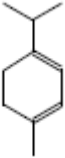
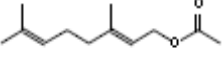
Estes resultados se relacionam aos efeitos do estresse hídrico para as plantas. Estresse hídrico pode resultar em mudanças anatômicas (Wahid et al., 2007; Zhang et al., 2005). Em geral, essas alterações incluem tamanho reduzido e células danificadas, fechamento de estômatos e perda de água reduzida, densidades estomáticas e tricomas maiores e vasos do xilema maiores. As principais modificações em nível subcelular relacionam-se à forma dos cloroplastos. Ocorre inchaço das lamelas estromais, vacúolos aglomerados que alteram a organização estrutural dos tilacoides e formação do Fotossistema II e, conseqüentemente, reduzem as atividades fotossintéticas e respiratórias (Zhang et al., 2005). Os efeitos cumulativos de todas estas mudanças sob estresse podem contribuir para o pouco crescimento e baixa produtividade das plantas.

Ao todo foram detectados 17 compostos nas amostras analisadas (Tabela 3). No tratamento controle foram detectados, em média, 11 compostos, enquanto nos tratamentos moderado e severo foram detectados 9 compostos, em média. No entanto, apenas α -pineno, γ -terpineno, linalol e cânfora estavam presentes em todas as amostras, sendo então submetidos à análise estatística para verificação do efeito dos

tratamentos. O constituinte majoritário em todas as amostras do óleo essencial obtido dos frutos de coentro foi linalol com média geral de 63,08%.

Tabela 3. Médias gerais dos percentuais dos constituintes detectados em amostras do óleo essencial de frutos de coentro (*Coriandrum sativum* L.).

CONSTITUINTE DO ÓLEO ESSENCIAL (Fórmula Molecular)	PERCENTUAL MÉDIO DAS AMOSTRAS (%)	ESTRUTURA MOLECULAR
α -Pinoeno (C ₁₀ H ₁₆)	3,48	
Canfeno (C ₁₀ H ₁₆)	0,66	
β -Pinoeno (C ₁₀ H ₁₆)	0,31	
Mirceno (C ₁₀ H ₁₆)	0,52	
Cimeno (C ₁₀ H ₁₄)	0,41	
Limoneno (C ₁₀ H ₁₆)	1,40	
γ -Terpineno (C ₁₀ H ₁₆)	2,77	

Linalol (C ₁₀ H ₁₈ O)	63,08	
Cânfora (C ₁₀ H ₁₆ O)	3,60	
Borneol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0,59	
Geraniol (C ₁₀ H ₁₈ O)	2,31	
Dodecenol (C ₁₂ H ₂₂ O)	1,5	
Ácido mirístico (C ₁₄ H ₂₈ O ₂)	8,73	
Ácido palmítico (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	15,71	
Eucaliptol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0,98	
α-Terpineno (C ₁₀ H ₁₆)	0,31	
Geranil acetato (C ₁₂ H ₂₀ O ₂)	2,99	

O percentual de cânfora no óleo essencial de frutos de coentro não diferiu entre os tratamentos. Para os demais compostos analisados (α -pineno, γ -terpineno, linalol) o estresse hídrico resultou em aumento do percentual destes nos óleos. Um cromatograma representativo das amostras esta apresentado na Figura 15.

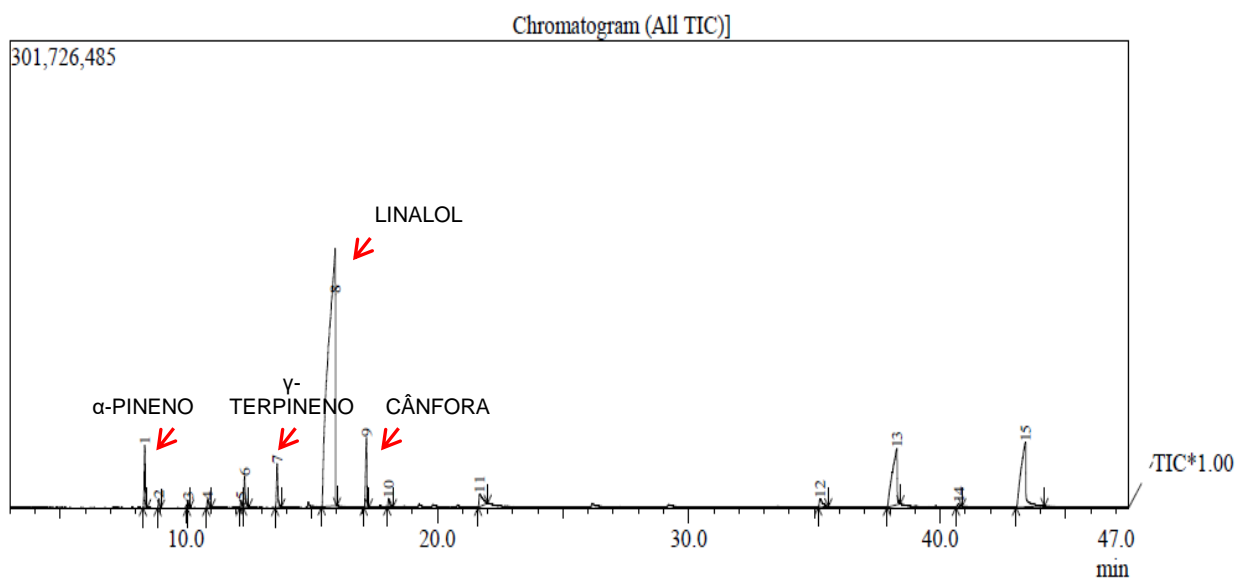


Figura 15: Cromatograma (CG-MS) do óleo essencial de frutos de coentro (*Coriandrum sativum*).

Tabela 4. Percentual de α -pineno, γ -terpineno, linalol e cânfora presentes no óleo essencial de frutos de Coentro (*Coriandrum sativum* L.) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico (“controle” 0,53 kPa; “moderado” 3,50 kPa; “severo” 21,85 kPa).

TRATAMENTOS	COMPOSTOS (%)			
	α -PINENO	γ -TERPINENO	LINALOL	CÂNFORA
Controle	2,33 ^A	1,72 ^A	52,64 ^A	2,72 ^A
Moderado	4,61 ^B	3,54 ^B	68,98 ^B	3,05 ^A
Severo	3,51 ^B	3,03 ^{AB}	67,60 ^B	3,41 ^A
CV (%)	31	33	14	31

Médias seguidas das mesmas letras na vertical não diferem entre si pelo teste Tukey em 5%.

O percentual de α -pineno no óleo essencial de frutos de coentro foi 74% maior em plantas sob estresse “moderado” e “severo” quando comparadas ao controle. O estresse hídrico também resultou em aumento do percentual de linalol. No óleo essencial de plantas “controle” foi verificado percentual médio de 52,64%, enquanto plantas sob estresse moderado e severo apresentaram, em média, 68,29%, ou seja, aumento de, aproximadamente, 30%.

O α -pineno é um monoterpene ($C_{10}H_{16}$) (Bakkali et al., 2008), constituinte de vários óleos essenciais como de alecrim, cipreste e outros, e em alguns casos, correspondem ao constituinte majoritário. É pouco solúvel em água e possui massa molecular de 136,24 g/mol, com 88,19% de carbono e 11,84% de hidrogênio. É termicamente instável, inflamável e pode a biossíntese ocorre a partir do geranyl pirofosfato (Azambuja, 2017).

O gama terpineno (1-metil-4-isopropilciclohexadieno-1,4) é um monoterpene presente em diversas espécies de plantas farmacologicamente ativas. No gama terpineno, a presença de uma insaturação na sua estrutura de cadeia cíclica confere a característica de olefina, o que permite uma fácil absorção através das membranas biológicas, tendo em vista sua característica lipossolúvel (Freitas et al., 2015).

Linalol é um álcool terciário com vários usos industriais e encontrados em diversas flores e plantas condimentares. Mais de 200 espécies de plantas produzem linalol. Este composto possibilita a existência de dois enantiômeros por conta de seu carbono assimétrico: o (+) linalol e o (-) linalol, embora não admita isomeria geométrica devido à sua ligação dupla (Azambuja, 2017).

A cânfora é um monoterpeneo que deriva do linalilo (1,3-dimetil-1,6-octadieno), que por sua vez deriva da adição de duas moléculas de isopentenilo pirofosfato. Possui cor branca cristalina, aroma característico, sabor levemente amargo, volátil à temperatura ambiente, pertencente à família das cetonas (Costa e Mendes, 2017).

Turtola et al. (2003) relacionam o estímulo da produção de óleo essencial sob estresse hídrico ao fato de que as plantas produzem altas concentrações de terpeno em condições de estresse ambiental devido à baixa alocação de carbono ao crescimento, sugerindo uma permuta entre crescimento e defesa.

Neste contexto, Saxena et al. (2010) em experimentação avaliando doze acessos de coentro cultivados sob dois níveis de estresse hídrico (redução do fornecimento de água), sendo estes mediano e máximo, mostraram a forte influência das condições ambientais sobre a cultura do coentro, resultando em aumento da produção do óleo essencial pela supressão do fornecimento de água, principalmente no estresse mediano.

Hassan et al. (2014) também em experimento com a cultura do coentro, avaliaram a produção e composição de óleo essencial de coentro a partir do fornecimento de cinco lâminas de irrigação, sendo estas, 40%, 60%, 80%, 100% e 120% do potencial de evapotranspiração. Com o aumento do nível de irrigação de 40% a 120% houve aumento da produção de óleo essencial, porém não houve mudança na constituição do mesmo.

Em trabalho realizado por Petropoulos et al. (2008) com a cultura da salsa, três cultivares foram cultivadas sob condições de déficit hídrico, com dois níveis de fornecimento de água, 35-40% e 45-60%. Com o déficit hídrico constatou-se aumento do rendimento de óleo essencial das folhas, bem como dos seus constituintes.

6. RESUMO E CONCLUSÃO

As hortaliças condimentares, também chamadas “temperos”, estão ligadas diretamente à história mundial e até hoje têm relevância para economia e culinária. A família *Apiaceae* destaca-se entre esse grupo com espécies como *Coriandrum sativum* (coentro). Dos recursos que as plantas necessitam para a produção agrícola, a água é um dos mais importantes. Há evidências de que as concentrações de metabólitos secundários, como compostos voláteis, aumentam de maneira significativa em plantas sob condição de estresse hídrico. A presença de óleos essenciais, substâncias aromáticas e voláteis, permite que tais plantas possam ser utilizadas para dar sabor e aroma aos alimentos. Conhecer o metabolismo destas culturas e suas interações ambientais é essencial para criar sistemas de manejo adequados para produção com aumento da qualidade. Esse trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e a produção de coentro. As plantas foram cultivadas em vasos de 5,5 L preenchidos com substrato para plantas. A curva de “tensão x umidade” foi previamente obtida e utilizada como base para monitoramento do momento e quantidade da irrigação. Os tratamentos foram constituídos de três tensões, sendo estes: “controle” (0,53 kPa), “moderado” (3,50 kPa) e “severo” (21,85 kPa). Foi utilizado DIC com quatro repetições. Foram avaliados crescimento da parte aérea, raízes, produção de frutos e extração do óleo essencial dos frutos, submetidos posteriormente à cromatografia gasosa.

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que o *Coriandrum sativum* apresentou redução considerável do crescimento em resposta ao estresse hídrico “severo”, entretanto a composição do óleo essencial foi alterada quando as plantas foram submetidas ao estresse “mediano”, de maneira que houve aumento de compostos terpênicos.

Como perspectivas futuras, de acordo com a finalidade da produção (seja visando produção de frutos ou produção de compostos terpênicos) pode haver manejo do fornecimento de água (estresse mediano), objetivando a eficiência do uso de água.

7. REFERÊNCIAS

- Albouchi, A., Bejaoui, Z., El Aouni, M. H. (2003) Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca*. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 14 (3):137–142.
- Alvarenga, I.C.A., Valadares, R.V., Martins, E.R., Oliveira, F.G., Figueiredo, L.S.D., Kobayashi, M.K. (2011) Water stress before harvest of pepper-rosmarin. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (7):706-711.
- Andrade, F.M.C., Casali, V.W.D. (1999) Plantas medicinais e aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário. Viçosa: UFV, 139p.
- Angelopoulos, K., Dichio, B., Xiloyannis, C. (1996) Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany*, 47 (8):1093-1100.
- Anuário Brasileiro de Hortaliças. (2015) Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 68p.
- Arasimowicz, M., Floryszak-Wieczorek J. (2007) Nitric oxide as a bioactive signalling molecule in plant stress responses. *Plant Science*, 172 (5):876-887.
- Araújo Filho, J.A. (2002). Histórico do uso dos solos da caatinga In: Araújo, Q. R. (2002) 500 anos de uso do solo no Brasil. Bahia: UESC, p. 329-338.
- Arriel, E.F. (2004) *Divergência genética em *Cnidocolus phyllacanthus* (Mart) Pax. Et K. Hoffm.* Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 89p.

- Ashraf, M., Harris, P.J.C. (2013) Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51 (2):163-190.
- Ávila, M.R., Braccini, A.D.L., Scapim, C.A., Fagliari, J.R., Santos, J.L. (2007) Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. *Revista Brasileira de Sementes*, 29 (1):98-106.
- Azambuja, W. (2015) - Óleo essencial de salsa: <http://www.oleosessenciais.org/oleo-essencial-de-salsa/> em 27/03/2017.
- Azambuja, W. (2017) - Pineno: <http://www.oleosessenciais.org/pineno/> em 27/03/2017.
- Baker, N.R. (1991) A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 81 (4):563-70.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. (2008) Biological effects of essential oils - A review. *Food and chemical Toxicology*, 46 (2):446-474.
- Barta C., Dunkle, A.M., Wachter, R.M., Salvucci, M.E. (2010) Structural changes associated with the acute thermal instability of Rubisco activase. *Archives of biochemistry and biophysics*, 499 (1):17-25.
- Bassetti, B.D. (2015) *Estudo dos óleos essenciais de Zingiber officinalis, Murraya koenigii e Coriandrum sativum visando à Busca de inibidores de hiv-1 protease*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Campo Mourão, 46p.
- Basso, S.M.S. (1999) Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lótus* L. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 1999, 268 p.
- Beltrano, J., Ronco, M.G. (2008) Improved tolerance of wheaptlants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20 (1):29–37.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W. A., Kchouk, M.E., Marzouk, B (2009) Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120 (2):271–275.
- Bhuiyan, M.N.I., Begum, J., Sultana, M. (2009) Chemical composition of leaf and seed essential oil of *Coriandrum sativum* L. from Bangladesh. *Bangladesh Journal Pharmacol*, 4 (2):150-153.

- Blum, A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Crop and Pasture Science*, 56 (11):1159-1168.
- Bortolo, D.P.G., Marques, P.A.A., Pacheco, A.C. (2009) Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 11 (4):435-441.
- Bota, J., Medrano, H., Flexas, J (2004) Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress?. *New Phytologist*, 162 (3):671–681.
- Boutraa, T. (2010) Improvement of water use efficiency in irrigated agriculture: a review. *Journal of Agronomy*, 9 (1):1–8.
- Boyer, J.S. (1982) Plant productivity and environment. *Science*, 218 (4571):443-448.
- Bray, E.A. (1993) Molecular responses to water deficit. *Plant physiology*, 103 (4):1035-1040.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E. (2000) Biochemistry and molecular biology of plants. *American Society of Plant Physiologists*, p. 1158-1249.
- Bustamante, F.M.L. (1993) Plantas medicinales y aromáticas. Madrid: Mundi Prensa. p. 85-88.
- Cadwallader, K.R., Surakarnkul, R., Yang, S.P., Webb, T.E. (1999) Character-impact Aroma Components of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Herb. *In: Flavor Chemistry of Ethnic Foods*. Springer US, p. 77-84.
- Cambraia, J. (2005) Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: Nogueira, R.J., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U.M. *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, p. 95-105.
- Cardoso, M. G., Shan, A.Y.K.V., Pinto, J.E.B.P., Delu Filho, N., Bertolucci, S.K.V. (2001) *Metabólitos secundários vegetais: visão geral química e medicinal*. Lavras: UFLA, 81p.
- Carvalho, C.J.R. (2005) Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. Parahyba var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, 29 (6):907-914.
- Carvalho, L.M.D., Casali, V.W.D., De Souza, M.A., Cecon, P.R. (2003) Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. *Horticultura Brasileira*, 21 (4):726-730.

- Charles, D.J. (2013) Antioxidant properties of spices, herbs and other sources. Springer Science & Business Media, p. 255-263.
- Chaves, M.M. (1991) Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 42 (1):1-16.
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T., Pinheiro, C (2002) How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7):907-916.
- Coelho, M.G. (2009) *Óleos essenciais para aromaterapia*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Bio-emprededorismo em Plantas Aromáticas e Medicinais) - Universidade do Minho – Braga – Portugal, 107 p.
- Costa, A., Mendes, C. - Cânfora: <http://www2.dq.fct.unl.pt/cadeiras/qpn1/molweb/2002/canfora/index.htm> em 20/03/2017.
- Costa, A.F. (2002) *Farmacognosia*. 6.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1031p.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., Lewis, N.G. (2000) Natural Products (Secondary Metabolites. In: Buchanan, B. B, Grisse, W, Jones R L. (eds.) *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Rockville. American Society of Plant Physiologists, p. 250-318.
- Cruziat, P., Cochard, H., Améglio, T. (2002) Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. *Annals of forest science* 59 (7):723-752.
- Deiderichsen, A. (1996) Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 3 Institute of plants Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. *International Plant Genetic Resources Institute*. Roma, p. 82.
- Dias, N.S., Blanco, F.F. (2010) Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H.R., da Silva Dias, N., de Lacerda, C.F. (eds) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados Universidade*. Fortaleza: INCT Sal, p. 129-141.
- Djilani, A., Dicko, A. (2012) The Therapeutic Benefits of Essential Oils. The Therapeutic Benefits of Essential Oils. In: Bouayed, J. (ed.) *Nutrition, Well-Being and Health*. InTech, p.156-174.
- Donegá, M.A. (2009) *Relação K: Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de coentro*. Dissertação (Mestrado em Ciências/Fitotecnia) – Piracicaba – SP – Universidade Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, 63 p.

- Doussan, C., Pages, L., Vercambre, G. (1998) Modelling of the hydraulic architecture of root systems: an integrated approach to water absorption: distribution of axial and radial conductances in maize. *Annals of botany*, 81 (2):225-232.
- Embrapa. (1997) *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.
- Enfissi, E., Fraser, P.D., Lois, L.M., Boronat, A., Schuch, W., Bramley, P.M. (2005) Metabolic engineering of the mevalonate and nonmevalonate isopentenyl diphosphate-forming pathways for the production of health-promoting isoprenoids in tomato. *Plant Biotechnology Journal*, 3 (1):17-27.
- Engelberth, J. (2010) Secondary Metabolites and Plant Defense. In: Taiz, L., Zeiger, E. (eds.) *Plant Physiology*. 5 ed. Estados Unidos da América: Sinauer Associates, Inc., p. 369-400.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011). Crops statistics concepts, definitions and classifications: http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/documents/Production_trade/definitions/Crops_statistics_concepts_definitions_classifications.doc em 17/10/2016.
- Farahani, H.A., Lebaschi, M.H., Hamidi A. (2008a) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphorus and water stress on quantity and quality characteristics of coriander. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 2 (2):55-59.
- Farahani, H.A., Valadabadi, A., Rahmani, N. (2009) Effects of nitrogen on oil yield and its component of *Calendula* (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative medicines*, 6:336-337.
- Ferreira, D.F (2008). SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, 6:36-41.
- Figueiredo, A.C., Barroso J.G, Pedro, L.G. (2007) *Plantas aromáticas e medicinais. Factores que afectam a produção*. Curso teórico-prático. 3 ed. Edição da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – Centro de Biotecnologia Vegetal. Lisboa, Portugal: 18 p.
- Filgueira, F.A.R. (2008) *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3 ed. Viçosa: UFV, 413 p.
- Foolad, M.R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G., Lin, G.Y. (2003) Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica*, 130 (2):199–206.

- Freitas, M.S.M., Martins, M.A., Vieira, I.J.C. (2004) Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39 (9):887-894.
- Furlan, M.R. (1998) Ervas e temperos: cultivo e comercialização. SEBRAE/MT, Cuiabá: 128 p.
- Gliński, J., Lipiec J. (1990) Soil Physical Conditions and Plant Roots. *CRC Press*. Boca Raton, Estados Unidos da América, 250 p.
- Gobbo-Neto, L., Lopes, N.P. (2007) *Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários*. *Química Nova*, 30 (2):374.
- Hassan, F.A.S., Ali, E.F. (2014) Impact of different water regimes based on class-A pan on growth, yield and oil content of *Coriandrum sativum* L. plant. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13 (2):155–161.
- Hsiao, T.C. (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24(1):519-570.
- Huang, B., Eissenstat, D.M. (2000) Root plasticity in exploiting water and nutrient heterogeneity. *Plant-Environment Interactions*, p. 111-132.
- Ingram, J., Bartels, D. (1996) The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 47 (1):377–403.
- Kaiser, W.M. (1987) Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum*, 71 (1):142-149.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra*. New Jersey: Climatology. Laboratory of Climatology, 104 p.
- Kramer, P.J. (1980) Drought, stress, and the origin of adaptations. In: Turner, N. C., Kramer, J. P. (eds). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York: Wiley, p. 7-20.
- Kudrev, T.G., Rezende, J.G. (1994) *Água: vida das plantas*. São Paulo: Ícone, 178 p.
- Larcher, W. (2006) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima, 536 p.
- Ludlow, M.M., Muchow, R.C. (1990) A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited (1990). *Advances in Agronomy*, 43:107-153.
- Machado, B.F.M.T., Fernandes Junior, A. (2011) Óleos essenciais: aspectos gerais e usos em terapias naturais. *Cadernos Acadêmicos*, 3 (2):105-127.

- Marchese, J.A., Ferreira, J.F., Rehder, V.L., Rodrigues, O. (2010) Water deficit effect on the accumulation of biomass and artemisinin in annual wormwood (*Artemisia annua* L., Asteraceae). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22 (1):1-9.
- Mari, A. (2009) Coentro. Aportes - Associação dos Produtores de Horti-Fruti do Estado de São Paulo: <http://www.aportes.com.br/coentro.html> em 30/08/2016.
- Martins, F.T., Santos, M.H.D., Polo, M., Barbosa, L.C.D.A. (2006) Variação química do óleo essencial de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., sob condições de cultivo. *Química Nova*, 29 (6):1203-1209.
- Mattos, E.A. (1992) *Trocas gasosas em folhas de três espécies arbóreas do cerrado da Fazenda Canchim, São Carlos (SP): A disponibilidade hídrica durante a estiagem de inverno limita a abertura estomática?* Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - - São Carlos - SP - Universidade Federal de São Carlos, 156 p.
- Maurel, C., Simonneau, T., Sutka, M. (2010) The significance of roots as hydraulic rheostats. *Journal of Experimental Botany*, 61 (12):3191-3198.
- Meira, M.R., Melo, M.T.P., Martins, E.R., Pinto, M.J.S., Santana, C.S. (2012) Crescimento vegetativo, produção de fitomassa e de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. sob diferentes lâminas de irrigação. *Ciência Rural*, 43 (5):779-785.
- Mendonça, J.C., Sousa, E.F., Bernardo, S., Sugawara, M.T., Peçanha, A.L., Gottardo, R.D. (2007) Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11 (5):471-475.
- Ministério da Agricultura (2010), Pecuária e Abastecimento. Manual de hortaliças não-convencionais. Secretaria de desenvolvimento agropecuário e cooperativismo - Mapa/ACS, Brasília, 52p.
- Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Daros, E., Campos, M.K.F., Carvalho, J.F.R.P.R., Bessalho Filho, J.C., Pereira, L.F.P., Vieira, L.G.E. (2007) Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum spp.*): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 130 (2):218-229.
- Moreno-Dorado, F.J., Guerra F.M., Aladro, F.J., Bustamante, J.M., Jorge, Z.D., Massanet, G.M. (2000) Synthesis of (±)-11 α -Hydroxy-3-oxo-6 α H,7 α H,10 β Mendesman-1,2-4,5-dien-6,12-olide. *Journal of Natural Products*, 63 (7):934-938.
- Msaada, K., Hosni, K., Taarit, M.B., Chahed, T., Marzouk, B. (2007) Variations in the essential oil composition from different parts of *Coriandrum sativum* L. cultivated in Tunisia. *The Italian Journal of Biochemistry*, 56 (1):47-52.

- Neffati, M., Marzouk, B. (2008). Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. *Industrial crops and products*, 28(2):137-142.
- Nikolaeva, M.K. et al (2010) Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57 (1):87–95.
- Nilsen, E.T., Orcutt, D.M. (1996) Physiology of plants under stress: abiotic factors. New York: John Wiley & Sons, 689 p.
- Nogueira, R.J.M.C., Albuquerque, M.B., Silva, E.C. (2005) Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga *In*: Nogueira, R.J.M.C., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U.M.T. *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 22-31.
- Nogueira, R.J.M.C., Melo Filho, P.A., Santos, R.C. (1998) Curso diário do potencial hídrico foliar em cinco espécies da caatinga. *Ecossistema*, 23:73-77.
- Nogueira, R.J.M.C., Moraes, J.A.P.V., Burity, H.A., Bezerra Neto, E. (2001) Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas à déficit de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13:75-87.
- Ortiz, E.L. (1992) The encyclopedia of herbs, spices & flavouring the complet guide for cooks. London: Dorling Kindersley, p. 100-101.
- Paiva, A.S., Fernandes, E.J., Rodrigues, T.J.D., Turco, J.E.P. (2005) Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, 25:161-169.
- Parry, M.A., Andralojc, P.J., Khan, S., Lea, P.J., Keys, A.J. (2002) Rubisco activity: effects of drought stress. *Annals of Botany*, 89 (7):833–838.
- Pereira, R.C.A. (2013) Plantas condimentares: cultivo e utilização. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 56 p.
- Peres, L. (2004) Metabolismo secundário. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 26 p.
- Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G., Passam, H.C. (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae*, 115 (4):393–397.
- Phillips, M.A., León, P., Boronat, A., Rodríguez-Concepción, M. (2008) The plastidial MEP pathway: unified nomenclature and resources. *Trends in Plant Science*, 13 (12):619-23.

- Piana, A.T., Grohs, D.S., Poletto, N. (2005) Avaliação da relação parte aérea sistema radicular como indicador de acamamento em plantas de cevada e aveia *In: Salão de Iniciação Científica*. Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS.
- Quer, R.B. (1993) Plantas medicinales: El dioscorides renovado. Barcelona: editorial Labor S/A, 386 p.
- Rizzini, C.T., Mors, W.B. (1995) Botânica econômica brasileira, 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 248 p.
- Robelo, H.O.S. (1982) *Acondicionamiento a la sequia: crecimiento y eficiencia en el uso de agua em Atriplex repañada Phil*. Dissertação (Mestrado) -Facultad de Ciências Básicas y Farmacêuticas - Universidad de Chile, 97 p.
- Rodriguez-Concepción, M., Boronat, A. (2002) Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids. A metabolic milestone achieved through genomics. *Plant physiology*, 130 (3):1079-1089.
- Roveda-Hoyos, G., Fonseca-Moreno, L.P. (2011) Proteomics: a tool for the study of plant response to abiotic stress. *Agronomía Colombiana*, 29 (2):221-230.
- Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F., Sangwan, R.S. (2001) Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34 (1):3-21.
- Saxena, S.N., Kakani, R.K., Saxena, R., Anwer, M.M. (2010) Effect of water stress on seed quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 19 (1,2):53–56.
- Sekhon, H.S., Singh, G., Sharma, P., Bains, T.S. (2010) Water Use Efficiency Under Stress Environments *In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Redden, R., Patil, S.A. (eds) Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops*. Springer Press, p 207-227.
- Selmar, D., Kleinwächter, M. (2013) Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 42:558-566.
- Shahwar, M. K, El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M., Butt, M.S., Hussain, S., Nadeem, M. (2012) Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Seeds and Leaves: Volatile and Non Volatile Extracts. *International Journal of Food Properties*, 15 (4):736:747.
- Silva, M.A.D., Coelho Júnior, L.F., Santos, A.P. (2012) Vigor de sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) provenientes de sistemas orgânico e convencional. *Revista Brasileira de plantas medicinais*, 14:192-196.

- Singh-Sangwan, N., Abad Farooqi, A.H., Singh-Sangwan, R. (1994) Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New phytologist*, 128 (1):173-179.
- Sourour, A., Afef, O., Mounir, R., Mongi, B.Y. (2017) A review: Morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *The International Journal Of Engineering And Science*, 6 (1):1-4.
- Souza, C.R., Soares, A.M., Albuquerque, R.M. (2001) Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36 (10):1221-1230.
- Souza, M.J.H, Ribeiro, A., Garcia Leite, H., Palha Leite, F., Bolignon Minuzzi, R. (2006) Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. *Revista Árvore*, 30 (3):399-410.
- Souza, S.M., Meira, M.R., Figueiredo, L.D., Martins, E.R. (2010) Óleos essenciais: aspectos económicos e sustentáveis. *Enciclopédia Biosfera*, 6 (10):1-10.
- Souza, V.C., Lorenzi, H. (2005) Guia ilustrado para identificação das famílias das angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odesa: Institute Plantarum, 640 p.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004) *Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p.
- Turtola, S., Manninen, A.M., Rikala, R., Kainulainen, P. (2003) Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in Scots pine and Norway spruce seedlings. *Journal of chemical ecology*. 29 (9):1981–1985.
- Vadez, V., Berger, J.D., Warkentin, T., Asseng, S., Ratnakumar, P., Rao K.P.C., Gaur, P.M., Munier-Jolain, N., Larmure, A., Voisin, A.S., Sharma, H.C., Pande, S., Sharma, M., Krishnamurthy, L., Zaman, M.A. (2012) Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1):31-44.
- Vandeleur, R.K., Mayo, G., Shelden, M.C., Gilliam, M., Kaiser, B.N., Tyerman, S.D. (2009) The Role of Plasma Membrane Intrinsic Protein Aquaporins in Water Transport through Roots: Diurnal and Drought Stress Responses Reveal Different Strategies between Isohydric and Anisohydric Cultivars of Grapevine. *Plant Physiology*, 149 (1):445-460.
- Vellini, A.L.T.T., Paula, N.F., Alves, P.L.C.A., Pavani, L.C., Bonine, C.A.V., Scarpinati, E. A., Paula, R. C. (2008) Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. *Revista Árvore*, 32 (4):651-663.

- Wahid, A. (2007) Physiological implications of metabolites biosynthesis in net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane sprouts. *Journal of plant Research*, 120 (2):219-222.
- Zhang, J.H., Huang, W.D., Liu, Y.P., Pan, Q.H. (2005) Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47 (8):959-970.
- Zlatev, Z., Lidon, F.C. (2012) An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture.*, 24 (1):57-72.

APÊNDICE

Tabela 1 - Tabela de constituintes presentes em óleo essencial de Coentro (*Coriandrum sativum*) (Neffati e Marzouk, 2008) Bhuiyan et al., 2009; Msaada et al., 2007; Cadwallader et al., 1999; Shahwar, 2012).

COMPOSTO	%	AUTOR
2-Nonenal	-	Cadwallader et al. (1999)
2-Decenal	-	Cadwallader et al. (1999)
	-	Shahwar (2012)
	64,14	Neffati, Marzouk (2008)
2-Decen-1-ol	-	Neffati, Marzouk (2008)
2-Dodecenal	4,90	Neffati, Marzouk (2008)
	-	Msaada et al. (2007)
	-	Cadwallader et al. (1999)
	-	Shahwar (2012)
2-hexadecenal	-	Shahwar (2012)
2-Nonenal	-	Neffati, Marzouk (2008)
2-Tetradecenal	-	Cadwallader et al. (1999)
2-tridecenal	-	Msaada et al. (2007)
	-	Shahwar (2012)

	5,66	Neffati, Marzouk (2008)
2-Undecenal	-	Shahwar (2012)
	-	Neffati, Marzouk (2008)
Ocimene oxide	-	Neffati, Marzouk (2008)
	-	Msaada et al. (2007)
1,2-Decanediol	0,45	Bhuiyan et al. (2009)
Eucaliptol	-	Neffati, Marzouk (2008)
1-Decanol	1,61%	Neffati, Marzouk (2008)
1-Pentadecene	0,08	Neffati, Marzouk (2008)
2,4-Dimetilheptano	0,18	Bhuiyan et al. (2009)
2-decen-1-ol	-	Shahwar (2012)
	-	Sun et al. (2006)
2-Dodecanal	1,32	Bhuiyan et al. (2009)
2-Dodecenol	-	Neffati, Marzouk (2008)
2-Tridecenal	0,99	Bhuiyan et al. (2009)
2-undecenal	3,87	Bhuiyan et al. (2009)
	-	Sun et al. (2006)
4-Allylphenyl acetate	0,22	Bhuiyan et al. (2009)
5-metil-5-nonanol	0,28	Bhuiyan et al. (2009)
Acetato	46,27	Olle, Bender (2010)
Estragol	0,25	Bhuiyan et al. (2009)
Benzeno	0,05	Bhuiyan et al. (2009)
Borneol	-	Neffati, Marzouk (2008)
Cânfora	-	Neffati, Marzouk (2008)
Ácido decanóico	12,71	Bhuiyan et al. (2009)
Cis-3-Hexenol	-	Neffati, Marzouk (2008)
Geraniol	-	Olle, Bender (2010)
Cyclodecano	-	Sun et al. (2006)
Cyclododecano	2,45	Bhuiyan et al. (2009)
Cyclooctanol	0,57	Bhuiyan et al. (2009)
Decahidroazuleno	0,38	Bhuiyan et al. (2009)
1,10-decanediol	1,15	Bhuiyan et al. (2009)

Decanal	9,14	Neffati, Marzouk (2008)
	1,39	Bhuiyan et al. (2009)
	-	Olle, Bender (2010)
	-	Sun et al. (2006)
Decano	-	Sun et al. (2006)
Decil	-	Olle, Bender (2010)
d-Limoneno	0,18	Bhuiyan et al. (2009)
Dodecanal	8,88	Neffati, Marzouk (2008)
	1,25	Bhuiyan et al. (2009)
	-	Shahwar (2012)
	-	Sun et al. (2006)
Ácido dodecanoico	2,63	Bhuiyan et al. (2009)
Ácido E-11-tetradecenoico	13,37	Bhuiyan et al. (2009)
E-2-etil-3-metil tiofeno	0,23	Bhuiyan et al. (2009)
Etilideno ciclooctano	0,31	Bhuiyan et al. (2009)
Eucaliptol	0,30	Bhuiyan et al. (2009)
Eugenol	-	Neffati, Marzouk (2008)
	-	Msaada et al. (2007)
Ácido undecanoico	4,97	Bhuiyan et al. (2009)
Gama cadineno	-	Msaada et al. (2007)
Geranil	-	Olle, Bender (2010)
Gama tionodecalactona	0,16	Bhuiyan et al. (2009)
Linalol	-	Shahwar (2012)
	-	Olle, Bender (2010)
Linalil acetate	-	Neffati, Marzouk (2008)
m-Aminoanilina	0,27	Bhuiyan et al. (2009)
Álcool cetílico	0,43	Bhuiyan et al. (2009)
Neril acetato	-	Neffati, Marzouk (2008)
		Msaada et al. (2007)
Nonanal	-	Neffati, Marzouk (2008)
Nonane	-	Sun et al. (2006)
Ácido nonanoico	1,17	Bhuiyan et al. (2009)

Nonanol	0,39	Bhuiyan et al. (2009)
Octanal	-	Neffati, Marzouk (2008)
Ácido octanoico	0,60	Bhuiyan et al. (2009)
o-Cimeno	0,08	Bhuiyan et al. (2009)
Ácido oleico	0,64	Bhuiyan et al. (2009)
1,2-Epoxihexadecano	0,07	Bhuiyan et al. (2009)
Octil-oxirano	0,027	Bhuiyan et al. (2009)
Pentadecenal	-	Shahwar (2012)
Sabineno	-	Neffati, Marzouk (2008)
Tetradecanal	-	Neffati, Marzouk (2008)
	-	Sun et al. (2006)
Timol	-	Olle, Bender (2010)
Tridecanal	-	Sun et al. (2006)
Ácido tridecanoico	5,45	Bhuiyan et al. (2009)
Undecanal	-	Neffati, Marzouk (2008)
	0,34	Bhuiyan et al. (2009)
	-	Sun et al. (2006)
Ácido undecanoico	2,13	Bhuiyan et al. (2009)
Álcool undecílico	6,42	Bhuiyan et al. (2009)
Ácido undecilénico	0,28	Bhuiyan et al. (2009)
1-Noneno	0,07	Bhuiyan et al. (2009)
Alfa-cariofileno	0,26	Bhuiyan et al. (2009)
Alfa-pinene	-	Neffati, Marzouk (2008)
	0,49	Bhuiyan et al. (2009)
	-	Olle, Bender (2010)
Alfa-terpineno	-	Neffati, Marzouk (2008)
Alfa-terpineol	-	Neffati, Marzouk (2008)
Alfa-tujeno	-	Neffati, Marzouk (2008)
Beta-cariofileno	-	Neffati, Marzouk (2008)
Beta-cineno	0,10	Bhuiyan et al. (2009)
Beta-pineno	-	Neffati, Marzouk (2008)