

EFEITO DE DIFERENTES PERÍODOS DE ESTRESSE HÍDRICO  
SOBRE A CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA, O CRESCIMENTO E O  
TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Cymbopogon citratus* (Poaceae)

**ROSANA TEIXEIRA LELIS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JUNHO – 2014

EFEITO DE DIFERENTES PERÍODOS DE ESTRESSE HÍDRICO  
SOBRE A CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA, O CRESCIMENTO E O  
TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Cymbopogon citratus* (Poaceae)

**ROSANA TEIXEIRA LELIS**

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.

Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JUNHO – 2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 086/2014

Lelis, Rosana Teixeira

Efeito de diferentes períodos de estresse hídrico sobre a capacidade fotossintética, o crescimento e o teor de óleo essencial em *Cymbopogon citratus* (Poaceae) / Rosana Teixeira Lelis. – 2014.

50 f. : il.

Orientador: Silvério de Paiva Freitas.

Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.

Bibliografia: f. 38 – 46.

1. Capim-limão 2. Restrição hídrica 3. Óleo essencial I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 633.88

EFEITO DE DIFERENTES PERÍODOS DE ESTRESSE HÍDRICO  
SOBRE A CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA, O CRESCIMENTO E O  
TEOR DE ÓLEO ESSENCIAL EM *Cymbopogon citratus* (Poaceae)

**ROSANA TEIXEIRA LELIS**

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 18 de junho de 2014

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Cláudia Lopes Prins (D.Sc., Fitotecnia) - UENF

---

Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc., Fisiologia Vegetal) - UENF

---

Prof.<sup>a</sup> Raquel Fialho Rubim (D.Sc., Produção Vegetal) – SEEDUC

---

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me guiado em todos os momentos, por ter me dado saúde, paciência, força e perseverança para conclusão de mais uma etapa da minha vida;

Aos meus pais, pela confiança, pelo otimismo, pelo incentivo, pelo amor, pelas palavras amigas e pelos momentos de apoio tão necessários para a conclusão desse trabalho;

Aos meus irmãos Rosane e Rogério pelo carinho, pela força e pelo incentivo sempre;

Ao meu sobrinho João Vitor pelo amor incondicional;

Ao Ricardo por todo amor, toda paciência, todo carinho, toda compreensão, todo suporte, por sempre estar ao meu lado, por toda ajuda na condução dos experimentos. Obrigada por tudo!

A toda minha família pelo carinho e pela torcida;

Ao Professor Silvério pela orientação, confiança e oportunidade de realizar este projeto;

Aos amigos de curso e do Laboratório de Plantas Daninhas e Medicinais pelo aprendizado, pela amizade, pelo apoio e pela convivência agradável;

À Professora Claudia Prins pela paciência, por toda ajuda e sugestões para o enriquecimento deste trabalho;

Ao Prof. Eliemar Campostrini, por toda paciência, colaboração e sugestões, que foram fundamentais na concretização deste trabalho;

Ao Dr. Tiago por toda ajuda, colaboração e ensinamentos;

Ao técnico Antônio Carlos e Detone, por toda ajuda nos experimentos e pela força nas horas difíceis;

Aos técnicos agrícolas Jader Zacharias de Freitas e Márcio Luiz Lopes de Almeida, pelo apoio e pela ajuda na realização dos experimentos;

A todos os professores, técnicos e alunos do LFIT e LMGV/ Fisiologia Vegetal por toda ajuda;

Aos componentes da banca de defesa: Claudia Lopes Prins, Eliemar Campostrini e Raquel Fialho Rubim pela disponibilidade de participar e compartilhar comigo deste momento tão importante na minha vida profissional;

Ao pessoal da Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo situada no município de Campos dos Goytacazes – RJ por ceder as mudas de Capim-limão;

A FAPERJ pelo apoio financeiro;

Agradeço a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Plantas Daninhas e Medicinais, pela oportunidade de realização deste curso;

A todos aqueles que de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE SIMBOLOS .....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. <i>Cymbopogon citratus</i> .....	3
2.2. Óleos Essenciais .....	4
2.3. Estresse Hídrico.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1. Localização .....	11
3.2. Delineamento Experimental .....	11
3.3. Variáveis climáticas e teor de umidade do substrato.....	12
3.4. Material Biológico.....	16
3.5. Condições de cultivo e estabelecimento dos tratamentos .....	16
3.6. Trocas gasosas em nível foliar.....	17
3.7. Índice SPAD .....	17
3.8. Medidas de Crescimento .....	18
3.9. Determinação do Teor de Óleo Essencial.....	19
3.10. Análise estatística .....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1. Trocas gasosas .....	20

4.2. Índice SPAD .....	24
4.3. Variáveis de crescimento .....	26
4.4. Teor de óleo essencial .....	33
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
APÊNDICE .....	47

## LISTA DE SIMBOLOS

- A: Taxa fotossintética líquida  
ABA: Ácido abscísico  
ATP: Adenosina trifosfato  
CCV: Capacidade de campo do substrato do vaso  
CNC: Crescimento da nervura central da folha  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono  
CRH: Com restrição hídrica  
DBC: Delineamento em blocos casualizados  
DMAPP: Dimetilalil difosfato  
DPV: Déficit de pressão de vapor  
E: Transpiração  
FPP: Farnesil difosfato  
GGPP: Geranilgeranil difosfato  
GPP: Geranil de difosfato  
gs: Condutância estomática  
IRGA: Analisador de gás a infravermelho  
IPP: isopentenil difosfato  
MEP: Metileritritol fosfato  
MSPA: Massa seca de parte aérea  
NADPH: Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato desidrogenase  
O<sub>2</sub>: Oxigênio

Q: Fluxo de fótons fotossintéticos  
SRH: Sem restrição hídrica  
T°: Temperatura em graus Celsius  
UR: Umidade relativa

## RESUMO

LELIS, R.T. M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2014. Efeito de diferentes períodos de estresse hídrico sobre a capacidade fotossintética, o crescimento e o teor de óleo essencial em *Cymbopogon citratus* (Poaceae). Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas.

O *Cymbopogon citratus* é uma planta medicinal e aromática, usada na medicina popular de muitos países e cultivada para produção comercial de óleo essencial. A biossíntese dos metabólitos secundários é influenciada por fatores endógenos e exógenos, de modo que suas propriedades químicas podem se alterar. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes períodos de estresse hídrico em função da capacidade fotossintética, do crescimento e do teor de óleo essencial de *C. citratus*. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 6, ou seja, 2 condições: plantas com e sem restrição hídrica e 6 períodos de estresse hídrico: 0, 2, 7, 8, 11 e 13 dias de suspensão da irrigação antes da colheita. Foram avaliados o teor de clorofila, crescimento (comprimento da nervura central da folha, número de folha e perfilhos, matéria seca da parte aérea e radicular), as trocas gasosas e os teores de óleo essencial. Os resultados mostraram que a restrição hídrica interferiu negativamente nas trocas gasosas, no teor de clorofila, no comprimento da nervura central, na massa seca da parte aérea e no número de folha. Entretanto, o teor de óleo essencial foi influenciado positivamente, pois as plantas com

restrição hídrica apresentaram maior teor de óleo essencial em comparação com as plantas sem restrição.

Palavras-chave: Capim-limão, restrição hídrica, óleo essencial.

## ABSTRACT

LELIS, R.T. M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. June, 2014. Effect of different periods of water stress on photosynthetic capacity, growth and essential oil content in *Cymbopogon citratus* (Poaceae). Advisor: Prof. Silvério de Paiva Freitas.

The *Cymbopogon citratus* is a medicinal and aromatic plant used in folk medicine of many countries and grown for commercial production of essential oil. The biosynthesis of secondary metabolites is influenced by endogenous and exogenous factors, so that its chemical properties may change. The objective of this study was to evaluate the effect of different periods of water stress as a function of photosynthetic capacity, growth and essential oil content of *C. citratus*. The experimental design was conducted in randomized block with four replications in a factorial 2 x 6, that is, 2 conditions: with and without water restriction and 6 periods of water stress: 0, 2, 7, 8, 11, and 13 days of suspension of irrigation before harvesting. Chlorophyll content, growth (length of the midrib of leaf, number of leaves and tillers, dry weight of shoots and roots), gas exchange, and the content of essential oil were evaluated. The results showed that the water restriction interfered negatively in the gas exchange, chlorophyll content, midrib length, dry weight of shoots, and number of leaves. However, the essential oil content was positively influenced by water stress. Plants with water restriction had a higher essential oil content compared to plants without restriction.

Keywords: Lemongrass, water restriction, essential oil.

## 1. INTRODUÇÃO

O *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Poaceae) é uma planta medicinal e aromática, usada na medicina popular de muitos países (Gomes e Negrelle, 2003) e cultivada para produção comercial de óleo essencial usado na indústria alimentícia como aromatizante de alimentos e bebidas. Apresenta como constituintes majoritários o monoterpene citral e o mirceno, usado em perfumaria e cosmética e também na indústria química para síntese de importantes compostos como iononas, metil-iononas e vitamina A (Craveiro et al., 1981; Martins et al., 2004).

Os óleos essenciais e diversos metabólitos secundários têm sido investigados quanto às suas mais variadas atividades biológicas, incluindo atividades do tipo larvicida, ovicida, inseticida e/ou repelentes de insetos vetores e os que causam prejuízos aos agricultores, acarretando baixa produtividade e qualidade dos alimentos cultivados (Roel, 2001).

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

Segundo Souza et al. (2001), dos recursos que as plantas necessitam para o crescimento, a água é um dos mais importantes para a produtividade

agrícola, por ser essencial aos vários processos metabólicos das plantas, sobretudo, durante o período inicial de desenvolvimento. Em respostas 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 CO<sub>2</sub> para o mesófilo foliar, o que causa a redução na taxa fotossintética, dentre outros (Souza et al., 2001).

Segundo Selmar e Kleinwächter (2013), as concentrações de metabólitos secundários aumentam significativamente em planta em condições de seca. Trabalhos que avaliaram a resposta de plantas medicinais submetidas ao estresse hídrico demonstraram 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). Segundo Andrade e Casali (1999), o resultado sobre 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, sendo também dependente da espécie de planta submetida ao estresse.

O estudo das respostas referente à produção de óleos essenciais de espécies sob condições de estresse hídrico é importante para a obtenção de informações para ajudar na maximização da produção de biomassa vegetal e dos teores das substâncias de interesse. Devido às poucas informações sobre as práticas de cultivo para otimização da produção de *C. citratus*, esse trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de *C. citratus* sob diferentes períodos de estresse hídrico antes da colheita em termos de crescimento, capacidade fotossintética e teor de óleo essencial.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. *Cymbopogon citratus*

A espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, da família Poaceae, é uma planta aromática, que cresce formando touceiras de um metro ou mais de altura. As folhas medem de 0,6 a 1m de comprimento por 1,5 a 2 cm de largura; são ásperas, nas duas faces, com bordas cortantes, apresentando nervuras centrais proeminentes. O florescimento é raro, e as flores, eventualmente formadas, são estéreis. Apresenta rizomas semisubterrâneos e curtos. É de origem asiática, encontrada na América do Sul, Índia, Austrália e nos Estados Unidos, é conhecida popularmente como capim-limão, erva-cidreira, capim-santo e outros nomes (Salerno et al., 2004; Di Stasi e Hiruma-Lima, 2002). A infusão e decocção das partes aéreas dessa planta são usadas na medicina popular para tratamentos de distúrbios digestivos, inflamações, diabetes, febre e outros problemas de saúde (Cheel et al., 2005).

As espécies do gênero *Cymbopogon* são resistentes encontradas em regiões tropicais e subtropicais, perenes, que uma vez plantadas, apresentam retorno econômico de 3 a 5 anos, dependendo da fertilidade do solo, condições climáticas e práticas de cultivo (Fatima et al., 2002; Ortiz et al., 2002).

Segundo Ortiz et al. (2002), as condições ideais para o desenvolvimento de *C. citratus*, planta C4, cujo óleo essencial é armazenado em células de óleo no parênquima das folhas, são temperaturas elevadas e clima úmido com plena

exposição solar e chuvas dispersas de maneira uniforme. Essa espécie não tolera região muito fria, sujeita a geada (Corrêa Júnior, 1998; Lewinsohn et al., 1998).

A produção de *C. citratus* no Brasil ocorre destacadamente nas regiões Sul e Sudeste. No estado do Paraná, maior produtor de plantas medicinais aromáticas do País, a produção de capim-limão ocupa posição de destaque (Pinto et al., 2014).

## 2.2. Óleos Essenciais

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

O metabolismo vegetal origina produtos denominados metabólitos primários e secundários. Os metabolismos primários são o conjunto de processos metabólicos que desempenham um papel fundamental no vegetal, tais como o transporte de solutos, a fotossíntese e a respiração. Os compostos envolvidos possuem uma distribuição universal nas plantas, é o caso dos aminoácidos, dos nucleotídeos, dos lipídios, carboidratos e da clorofila. O metabolismo secundário origina compostos que não possuem uma distribuição universal, pois não são necessários para todas as plantas, são derivados dos metabólitos primários, possuem ação biológica que garante vantagens adaptativas às plantas e estão restritos a determinados grupos vegetais (Cardoso et al., 2001).

O metabolismo secundário desempenha uma função importante na influência mútua das plantas com o meio ambiente. Os produtos secundários apresentam função como a defesa contra ataque de patógenos, herbívoros, competição entre plantas e atração de organismos benéficos como polinizadores, dispersores de semente e microrganismos simbiotes (Peres, 2004). Além disso, possuem ação protetora em relação a estresses abióticos, como aqueles associados com mudanças de temperatura, conteúdo de água, níveis de luz,

exposição à UV e deficiência de nutrientes minerais (Peres, 2004). Também são fontes potenciais para o descobrimento de novos produtos naturais que possam ser utilizados no controle de vários insetos como, por exemplo, de *Aedes aegypti* (Raven et al., 2001; Cavalcanti et al., 2004; Taiz e Zeiger, 2009). Alguns atuam sobre os insetos causando deformações, inibição de oviposição e da alimentação, infertilidade, distúrbios no desenvolvimento, repelência e mortalidade (Roel, 2001).

Os óleos essenciais são misturas complexas, constituídos de compostos que podem pertencer às mais variadas classes, contudo, quimicamente, a grande 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).

Os terpenos são biossintetizados a partir de metabólitos primários por, pelo menos, duas rotas diferentes: pela rota do ácido mevalônico, cujo precursor é o acetil-CoA, e pela rota do metileritritol fosfato (MEP), tendo como precursores o gliceraldeído-3- fosfato e o piruvato. A primeira rota ocorre no citosol e no retículo endoplasmático e a segunda ocorre nos plastídeos, porém ambas dão origem ao isopentenil pirofosfato (IPP) (Rodríguez-Concepción, 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

O IPP e seu isômero, dimetilalil difosfato (DMAPP), são as unidades pentacarbonadas ativas na biossíntese dos terpenos que se ligam para constituir moléculas maiores. Inicialmente, a adição de uma molécula de IPP ao DMAPP origina o geranyl difosfato (GPP), molécula de dez carbonos, a partir do qual são formados os monoterpenos. O GPP pode se ligar a outra molécula de IPP, compondo uma molécula de 15 carbonos, o farnesil difosfato (FPP), precursores da maioria dos sesquiterpenos. A adição de outra molécula de IPP forma o geranylgeranyl difosfato (GGPP), composto de 20 carbonos, precursor dos diterpenos. Enfim, FPP e GGPP podem dimerizar para formar triterpenos (composto de 30 carbonos) e os tetraterpenos (composto de 40 carbonos), respectivamente (Rodríguez-Concepción, 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

*C. citratus* é cultivada para produção comercial de óleo essencial, usado como agente aromatizante em perfumaria, cosmética por seu intenso cheiro de limão, bem como para a obtenção do citral, uma mistura de isômeros geranial (a-citral) e neral (b-citral), é o constituinte principal, em mais de 70%, do óleo essencial de capim-limão e tem sido identificado como responsável pela atividade antifúngica (Paranagama et al., 2003; Mahanta et al., 2007; Rozwalka et al., 2008; Guimarães et al., 2011; Aquino et al., 2012), pela atividade anti-helmíntica (Almeida et al., 2003), antibacteriana (Pereira et al., 2004; Vargas et al., 2010; Valeriano et al., 2012), antiprotozoários (Rojas et al., 2012), repelente (Yanes, 2011), larvicida (Furtado et al., 2005; Freitas et al., 2010) e inseticida (Samarasekera et al., 2006; Franz et al., 2011; Soares et al., 2011) exibida pelo óleo essencial desta espécie.

Baseado na matéria seca, o óleo essencial de capim-limão tem um rendimento de 0,2 a 2%, podendo chegar a 3,0% (Carlson et al., 2001; Leal et al., 2003; Prins et al., 2008). Segundo Nascimento et al. (2003), o maior rendimento do óleo de *C. citratus* é obtido com colheita entre 9 e 11 horas. O óleo essencial do capim-limão pode alterar em qualidade e quantidade devido à diversidade genética no habitat e quanto aos tratos culturais, além de outros fatores internos e externos (Miranda et al., 2013).

### **2.3. Estresse Hídrico**

A água participa como reagente em abundantes reações metabólicas. Quando em baixa disponibilidade no solo, todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento dos vegetais podem ser comprometidos. A água é um dos fatores ambientais e agronômicos que comprometem a produção de metabólitos secundários (Franz, 1983; Palevitch, 1986; Larcher, 2000).

O déficit hídrico influencia negativamente o crescimento e metabolismo de muitas plantas, as respostas ao estresse dependem da espécie, da duração do estresse, do genótipo da planta, da fase de desenvolvimento e dos fatores ambientais (Bray, 1993). Deste modo, as plantas podem exibir tolerância, resistência ou suscetibilidade (quando reduz o crescimento, podendo chegar à morte, dependendo da magnitude do estresse submetido) (Cabraia, 2005).

Um dos vários mecanismos de defesa das plantas à falta de água é a regulação estomática para diminuir a perda de água por transpiração, agindo deste modo como recurso para evitar a desidratação dos tecidos, mantendo a turgescência por um período maior (Larcher, 2000). Com o fechamento dos estômatos há uma diminuição da difusão de CO<sub>2</sub> para o mesófilo foliar, ocasionando assim a redução da taxa fotossintética, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade das culturas e ativação do metabolismo secundário como forma de proteção ao estresse (Souza et al., 2001; Santos et al., 2004).

As plantas diminuem a área de transpiração mediante um rápido e reversível enrolamento das folhas (mais comum em Poaceae e Cyperaceae), proteção por uma camada espessa de cutícula e pelo estímulo da abscisão foliar. O acréscimo nos níveis de etileno e ácido abscísico (ABA) nas folhas induz a abscisão foliar e o fechamento estomático, respectivamente, permitindo assim um domínio maior da perda de água (Kramer, 1974; Larcher, 2000; Chaves et al., 2002; Taiz e Zeiger, 2009).

O estresse hídrico intervém no processo fotossintético, gerando modificações nos teores de clorofilas, sendo estas estudadas em determinadas plantas como indicadores fisiológicos de estresse (Mohawesh e Al-Absi, 2009). As clorofilas são pigmentos responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo elas essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH (Jesus e Marengo, 2008).

Os teores de clorofilas podem ser comprometidos devido à ação de fatores do ambiente como carências de minerais, estresse hídrico e temperatura (Carvalho et al., 2003). O teor de clorofila nas folhas é um indício do nível de dano que determinado estresse pode causar à planta, tornando assim importante ferramenta no diagnóstico de estresse hídrico nas plantas (Argenta et al., 2001).

Em resposta ao déficit hídrico, a manutenção da turgescência das células pode ocorrer pelo acúmulo de substâncias orgânicas e íons inorgânicos. O ajustamento osmótico colabora para a diminuição do potencial hídrico celular e deste modo beneficia o fluxo de água para o interior do vegetal (Bray, 1997; Pagter et al., 2005; Farooq et al., 2009). A conservação da turgescência admite que a fotossíntese e outras atividades fisiológicas fiquem conservadas, ainda que

baixas, sob condições de baixo potencial hídrico no solo (Vieira Júnior et al., 2007).

Costa et al. (2008) observaram que o estresse hídrico aplicado no estágio vegetativo de duas cultivares de milho (M-21 e BR-106) diminuiu o conteúdo relativo de água, área da folha, matéria seca das raízes e parte aérea das plantas. Os tratamentos com estresse também influenciaram negativamente essas variáveis no estágio reprodutivo, menos a produção de matéria seca das raízes, que não exibiu resposta e a cultivar BR-106 revelou-se mais tolerante a restrição hídrica nos dois estádios fenológicos pesquisados.

Em espécies medicinais, a restrição hídrica pode comprometer além do desenvolvimento da planta, o teor de óleo essencial e os compostos resultantes do metabolismo secundário (Santos et al., 2004). Essas consequências modificam de acordo com a espécie, o tipo, a intensidade e a duração do estresse, induzindo ao aumento ou à redução do teor de algumas substâncias derivadas desse metabolismo (Coscolin, 2012). A deficiência hídrica tem se mostrado benéfica para o acúmulo de compostos ativos em espécies medicinais e aromáticas. Em plantas herbáceas e arbustivas, os terpenos tendem a aumentar sob condições de estresse (Marchese et al., 2010).

Sangwan et al. (1994) verificaram que a intensidade e a duração do estresse hídrico podem influenciar a composição de monoterpenos em algumas espécies de *Cymbopogon* spp. Sob estresse moderado (plantas regadas a cada três dias), o teor de óleo não aumentou significativamente aos 45 dias em *C. nardus* enquanto que em *C. pendulus* um aumento significativo era evidente. Noventa dias de estresse suave (plantas irrigadas a cada dois dias), resultaram em um aumento significativo no teor de óleo em ambas as espécies. No entanto, após 90 dias de estresse moderado o teor de óleo diminuiu em *C. nardus*, mas em *C. pendulus* persistiu no mesmo nível elevado como sob estresse suave. Em relação à composição química, o estresse moderado por 45 dias incrementou teores de geraniol e reduziu citral em *C. nardus*, enquanto em *C. pendulus*, ocorreu aumento de citral. Com 90 dias de estresse moderado, houve redução do geraniol em *C. nardus* e aumento do citral em *C. pendulus*. Ambas as espécies apresentaram reduções no crescimento.

Alvarenga et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes períodos de estresse hídrico antes da colheita de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*) sobre

conteúdo de óleo essencial e de flavonoides. Os tratamentos consistiram na supressão de irrigação por cinco períodos, ou seja, 8, 6, 4, 2 e 0 dia antes da colheita. Foi observado que óleo essencial e o teor de flavonoides diminuíram linearmente, seguindo a intensidade do estresse hídrico, com decréscimo de, aproximadamente, 50% no teor de óleo e de 60% no teor de flavonoides totais. A produtividade do alecrim-pimenta, considerando matéria fresca e seca, não variou significativamente entre os tratamentos.

Silva et al. (2002) analisando o efeito de diferentes condições de estresse hídrico sobre as características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Chell, observaram que a deficiência hídrica diminuiu o crescimento, a produção de biomassa seca das plantas e o teor de óleo essencial. Por outro lado, Bortolo et al. (2009) encontraram os maiores valores de matéria seca de flores e rendimento de flavonoides no tratamento sem irrigação em *Calendula officinalis*.

Santos et al. (2004) avaliaram o efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e no teor do óleo essencial em *Hyptis pectinata* (Lamiaceae). Observaram que as plantas submetidas ao estresse hídrico (um, dois, três e quatro dias sem irrigação) apresentaram maior teor de óleo essencial quando comparadas às plantas sem estresse (irrigação diária). Foi observado também um efeito linear decrescente para o parâmetro massa foliar em função dos dias de estresse hídrico. A fotossíntese líquida reduziu significativamente nos tratamentos submetidos ao estresse hídrico, chegando a valores próximos à zero com dois dias de estresse e valores negativos nos tratamentos com três e quatro dias de estresse.

Lopes et al. (2001) avaliaram influência de três regimes hídricos (ambiente úmido: 5L; ambiente moderado: 2,5L e ambiente seco: 0,5L) sobre a produção de óleo essencial em sete acessos de erva-de-bicho (*Polygonum punctatum*) e observaram que tanto a produção quanto o teor de óleo essencial foram maiores em plantas regadas com 0,5L de água (ambiente seco).

As plantas podem exibir modificações qualitativas e quantitativas no metabolismo secundário quando cultivadas sob diferentes condições hídricas. Precisa ser feita uma análise química fundamentada na relação massa seca/ teor de princípios ativos para determinar se a alteração foi benéfica ou prejudicial, o

que estabelecerá se a alteração no manejo de cultivo foi adequada ou não (Montanari Jr, 2000; Santos et al., 2004; Bortolo et al., 2009).

O cultivo e o manejo agrônômico de plantas medicinais e aromáticas devem ser orientados para o aumento da produção de biomassa vegetal e dos teores das substâncias de interesse. Deste modo, o ajuste da espécie às condições climáticas da região e a sua resposta às diferentes variáveis como: nutrição, irrigação, controle de pragas e doenças, competição e outros, devem ser avaliados para produzir informação e adaptação das técnicas referentes à produção.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização**

O experimento foi realizado em casa de vegetação no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ ( latitude 21° 44' 47" S/Longitude: 41° 18' 26"O), no período de julho a novembro de 2013. Segundo Köeppen (1948), o clima da região é classificado como Aw, ou seja, quente e úmido, com temperaturas superiores a 18 °C no mês mais frio. O verão é chuvoso, estando a temperatura média anual em torno de 24 °C. A amplitude térmica anual é pequena com temperaturas médias variando de 21 °C a 27 °C. A precipitação anual média é de 1023 mm.

A casa de vegetação apresenta forma em arco, coberta com plástico de 150 µm de espessura e com tela sombrite (50% de transmitância de fótons fotossintéticos) e fechada nas laterais também com tela sombrite (30% de transmitância).

#### **3.2. Delineamento Experimental**

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 6, ou seja, 2 condições: plantas sem restrição

hídrica e com restrição hídrica e 6 períodos de restrição hídrica: 0, 2, 7, 8, 11 e 13 dias de supressão da irrigação antes da colheita.

### 3.3. Variáveis climáticas e teor de umidade do substrato

Dados climatológicos (mínimos, médios e máximos) de temperatura ( $T^{\circ}$ ) e umidade relativa (UR) do ar foram monitorados, em intervalos de uma hora, pelo Data Logger<sup>®</sup> (modelo: RHT10, marca Extech) instalado na casa de vegetação. O valor máximo de cada variável representa o maior valor observado no dia, o mínimo representa o menor valor e o médio representa a soma dos dados coletados no dia dividido pelo número de dados coletados. A partir dos dados máximos, médios e mínimos de  $T^{\circ}$  e UR, foi obtido o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), segundo equação proposta por Jones (1992).

$$DPV = 0,61137 * \exp (17,502 * T^{\circ} / 240,97 + T^{\circ}) * (1,0 - (UR\% / 100)),$$

Em que:

*DPV*: Déficit de Pressão de Vapor;

*exp*: Exponencial;

$T^{\circ}$ : Temperatura em graus Celsius;

*UR%*: Umidade Relativa.

As condições climáticas durante o período experimental em termos de valores máximo, médio e mínimo da temperatura, umidade relativa e déficit de pressão de vapor do ar estão apresentadas na Figura 1A, B e C, respectivamente. Observou-se que durante todo o experimento a temperatura média manteve-se entre 18,8 a 31,6 °C, a umidade relativa média entre 60,5 a 89,1% e o déficit de pressão de vapor do ar médio entre 0,35 a 2,27 KPa. Durante os períodos de restrição hídrica, as temperaturas máximas nos períodos 0, 2, 7, 8, 11, 13 dias de estresse foram, respectivamente, 38,6; 32,4; 40,2; 44,8; 38,6 e 39,5 °C. As temperaturas médias foram, respectivamente, 26,8; 24,1; 29,1; 31,6; 25,2; e 26,7°C. E as mínimas foram 19,1; 21,1; 23,8; 23,1; 19,6; 20,2 °C, respectivamente. Os valores de umidade relativa máxima no mesmo período foram 92,9; 90,6; 90,9; 91,9; 91,1 e 91,2%, respectivamente. Os valores médios

foram 67,4; 76,7; 72,6; 66,2; 71,8 e 73,8%, respectivamente e os valores mínimos da umidade relativa do ar foram, respectivamente, 33,5; 51,4; 39,8; 30,9; 37,9 e 39,2%. Os valores de déficit de pressão de vapor do ar máximo no mesmo período foram 4,5; 2,3; 4,5; 6,5; 4,2 e 4,3 KPa, respectivamente. Os valores médios foram 1,5; 0,7; 1,4; 2,2; 1,0 e 1,2 KPa, respectivamente e os valores mínimos foram, respectivamente, 0,1; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2 e 0,2 KPa.

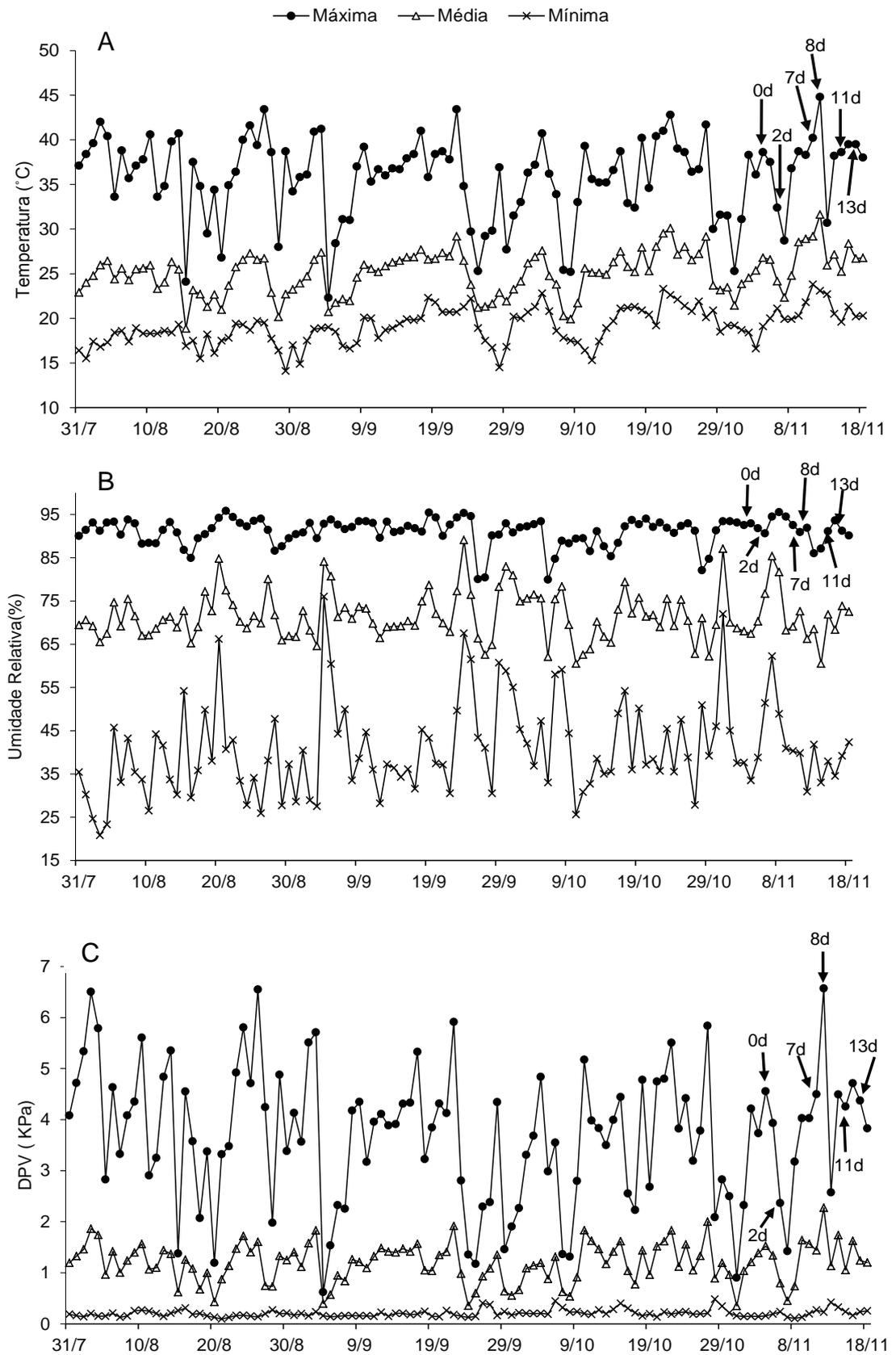


Figura 1. (A) Temperatura (°C), (B) Umidade relativa (%) e (C) déficit de pressão de vapor do ar (KPa) registrado no ambiente de cultivo de *C.citratu*s durante o período experimental. As setas indicam os períodos de estresse hídrico.

A umidade do substrato foi monitorada durante a determinação da restrição hídrica por um Medidor de umidade de solo (modelo: MO750 - Extech), com o qual foram feitas três medidas a 18 cm de profundidade no substrato de cada vaso. O valor obtido da umidade do substrato foi resultante da média dessas três medidas (Figura 2).

O medidor fornece índices de 0 a 50, de acordo com a umidade do substrato, sendo que quanto maior o índice, maior a umidade. Dessa forma, considerou-se o valor de 50, correspondendo a 100% de umidade no substrato, e com base nos dados obtidos, fez-se a conversão dos índices para porcentagem de umidade do substrato (Silva, 2014).

A umidade do substrato em vasos com plantas SHR manteve-se entre 38 a 40%, já os vasos CRH a umidade no solo foi diminuindo em função do aumento de dias com estresse hídrico, a umidade no solo reduziu de 36,75 para 0%. Em relação ao vaso SRH, com 2, 7, 8, 11 e 13 dias sob imposição dos períodos de restrição hídrica, os vasos com CRH apresentaram, respectivamente, uma redução de 23,8; 71,25; 74,6; 100 e 100% da umidade do substrato.

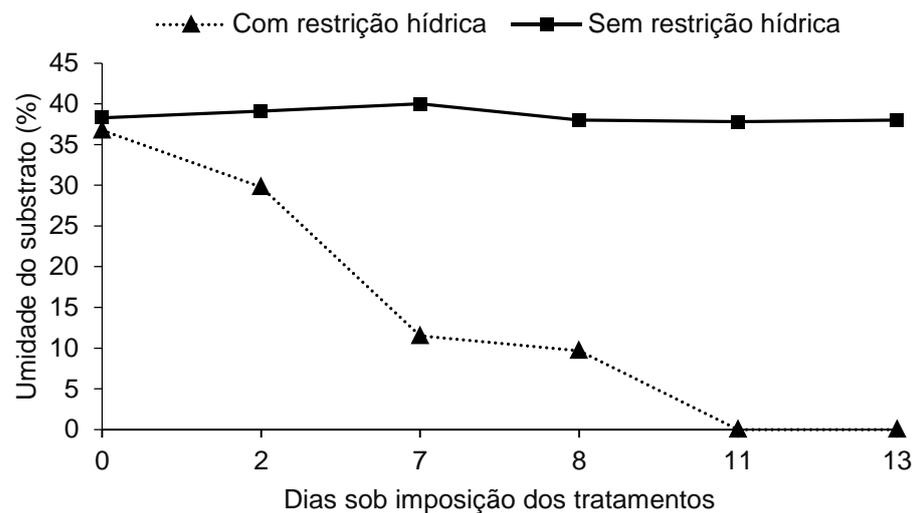


Figura 2. Percentual de umidade do substrato avaliado durante o período de imposição da restrição hídrica. Cada ponto representa a média de 3 medidas realizadas a cada 18 cm de profundidade no solo de cada vaso.

### 3.4. Material Biológico

As mudas de *Cymbopogon citratus* foram obtidas através de propagação vegetativa (divisão de touceiras) de planta matriz da Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo, situada no município de Campos dos Goytacazes – RJ. As plantas foram cultivadas em vasos (40 L) com substrato composto de solo, areia e esterco bovino curtido (1:1:1), utilizou-se uma planta por vaso. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,8 m entre linhas por 0,5 m entre as plantas na linha em casa de vegetação. As análises físicas e químicas do substrato foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solos da FUNDENOR, Campos dos Goytacazes, RJ e são apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Análise química do substrato (solo, areia, esterco bovino curtido; 1:1:1 v/v).

Análise Química do substrato														
pH	S-SO <sub>4</sub> P		K	Ca	Mg	H+Al	Na	C	MO	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	mg/dm <sup>3</sup>		mmo <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					g/dm <sup>3</sup>						
6,8	68	150	29,7	18,4	15,3	7,7	6,0	17	30	70	0,5	10,6	45	0,4

A análise foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solos da FUNDENOR, Campos dos Goytacazes, RJ.

Tabela 2 - Análise física do substrato (solo, areia, esterco bovino curtido; 1:1:1 v/v)

Análise Física do substrato		
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
73	19	8

A análise foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solos da FUNDENOR, Campos dos Goytacazes, RJ.

### 3.5. Condições de cultivo e estabelecimento dos tratamentos

Para aplicação dos tratamentos, foi determinada a capacidade de campo do substrato do vaso (CCV). Para tal, após o preenchimento do mesmo com o substrato, o vaso foi colocado sobre um suporte com grade e por baixo desta, uma bandeja para o armazenamento de água drenada. Em seguida, uma quantidade de água conhecida foi aplicada no vaso. Após a visualização do drenado, a quantidade de água contida na bandeja foi medida com o auxílio de

uma proveta de 500 mL e 1L, e subtraída com o total de água aplicada, assim chegou-se a CCV de 10,05 L (Ribeiro, 2012 ).

As mudas, após o plantio, foram regadas diariamente visando à constante umidade do substrato, mantendo-o em torno da capacidade de campo, para isso, um vaso na mesma condição do experimento foi separado e colocado sobre um suporte com grade e por baixo desta, uma bandeja para o armazenamento de água drenada. Em seguida, uma quantidade de água conhecida foi colocada nesse vaso, suficiente para saturar o substrato, após a finalização da drenagem, o volume do drenado contido na bandeja foi medido com o auxílio de uma proveta e subtraído com o total de água aplicada e o volume encontrado foi aplicado em todos os vasos do experimento, este método foi feito durante todo período experimental. Noventa dias após o plantio foi iniciada a aplicação dos tratamentos, que consistiu em: plantas sem restrição hídrica (SRH) e plantas com restrição hídrica (CRH). As plantas SRH continuaram sendo irrigadas diariamente e as plantas CRH tiveram a irrigação suspensa. A suspensão da irrigação foi por seis períodos, ou seja, 0, 2, 7, 8, 11, e 13 dias antes da colheita.

### **3.6. Trocas gasosas em nível foliar**

Antes de cada colheita as variáveis de trocas gasosas, como taxa fotossintética líquida ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa transpiratória ( $E$ ) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) foram avaliadas através do analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo LI-6400 (LI-COR, Lincon, NE, USA), utilizando-se fonte de luz artificial de  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As avaliações foram realizadas entre 8 e 9 horas, para as análises foi usada a quarta folha do perfilho principal das plantas, considerado de maior diâmetro. As medições foram feitas até que a taxa fotossintética líquida dos tratamentos fosse igual ou próxima à zero.

### **3.7. Índice SPAD**

A estimativa do teor de clorofilas foi avaliada por meio dos valores do índice SPAD, os quais foram obtidos por meio do Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502 (Minolta, Japão). Este equipamento é considerado não

destrutivo, rápido e simples, que fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha (Bonfim-Silva et al., 2011). O valor SPAD utilizado foi resultante da média de cinco leituras feitas na mesma folha e logo após a medição das trocas gasosas.

### **3.8. Medidas de Crescimento**

#### *Crescimento da nervura central da folha (CNC)*

O CNC consistiu na distância entre o ponto de inserção da bainha até o ápice da folha mais nova (essa folha foi marcada e as medidas foram realizadas sempre na mesma folha). As medições foram feitas com auxílio de uma régua de um metro de dois em dois dias durante a imposição do estresse hídrico.

#### *Número de folhas e perfilhos*

Ao fim de cada período de estresse, o número de folhas e perfilhos foram contados.

#### *Massa seca e suas relações*

As plantas foram colhidas entre 9 e 11 horas. Toda a parte aérea (bainha + folha) foi cortada rente ao solo, as folhas e bainhas foram separadas e acondicionadas separadamente em sacos de papel e em seguida submetidas à secagem artificial em estufa com circulação forçada de ar a 40°C para a determinação da massa seca.

O sistema radicular foi lavado com auxílio de uma peneira e um jato de água e em seguida acondicionado em sacos de papel e levado para secagem a 40 °C em estufa com circulação forçada de ar para obtenção da matéria seca.

As folhas, bainhas e raízes permaneceram na estufa até atingirem o peso constante, determinado após três pesagens consecutivas sem variação de peso. Com esses dados foi possível obter a relação entre a massa seca da parte aérea (bainhas + folhas) e do sistema radicular (MSPA/MSR).

### 3.9. Determinação do Teor de Óleo Essencial

Depois das folhas secas, foram submetidas à extração dos óleos essenciais por meio de hidrodestilação, em aparelho tipo Clevenger. O tempo de extração foi aproximadamente de 2 horas, a partir do início do acúmulo de óleo essencial no tubo coletor do aparelho. Após o término da extração, a fase oleosa (óleo essencial) foi recolhida com pipeta graduada e pesada. Após a pesagem, esta foi armazenada em *freezer* (-18 °C). O teor de óleo essencial foi calculado através da fórmula:  $[\text{Óleo essencial extraído (g)} / \text{Massa seca das folhas (g)}] * 100$ .

### 3.10. Análise estatística

Os dados experimentais foram submetidos ao teste F pela análise de variância. Depois da análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade e também foram obtidas curvas de regressão, sendo consideradas adequadas aquelas que apresentaram coeficiente significativo em 5% pelo teste F. O programa estatístico utilizado para as análises foi o software SAEG<sup>®</sup> (sistema para análises estatísticas e genéticas).

A Relação entre a condutância estomática e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) foi analisada por meio da dispersão dos pontos com o auxílio do Microsoft Excel 2007, que também foi o programa utilizado na confecção dos gráficos e das tabelas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Trocas gasosas

As plantas submetidas ao tratamento com restrição hídrica apresentaram médias menores de A,  $g_s$  e E em comparação com as plantas sem restrição. As médias das trocas gasosas foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos, como pode ser visto na Tabela 3. Resultado semelhante foi obtido por Gonçalves et al. (2010), em estudo realizado com cana-de-açúcar, em que a deficiência hídrica provocou reduções em A,  $g_s$  e E.

Tabela 3: Valores médios da taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática ( $g_s$ ) de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH). Médias da avaliação de seis períodos.

Tratamento	Trocias gasosas		
	A	$g_s$	E
SRH	5,46 A	0,06 A	1,77 A
CRH	1,56 B	0,05 B	1,31 B
CV (%)	29,7	20,7	20,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 3 representa os valores das medições da A,  $g_s$  e E ao longo do período de estresse hídrico. Pode-se notar que houve alternância entre os valores

e tratamentos ao longo do tempo. Isso foi em consequência à grande oscilação nas condições climáticas ao longo do período de avaliação das trocas gasosas, como pode ser observado na Figura 1.

Em plantas SRH, pode-se observar uma redução da taxa fotossintética no período dois e sete dias após o início dos tratamentos, isso pode ter acontecido devido a uma diminuição do fluxo de fótons fotossintético (Q), como mostra as setas na Figura 3A, o valor de Q em 0, 2, 7, 8 dias de déficit hídrico foi de 370,5; 139,8; 84,6; 398,5  $\mu\text{mol. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Os maiores valores da fotossíntese líquida nas plantas controles foram em Q com os valores mais elevados. Segundo Valladares e Niinemets (2008), a redução da atividade fotossintética é uma resposta característica à redução da disponibilidade de luz. A taxa fotossintética líquida de plantas CRH foi influenciada negativamente em função dos períodos de suspensão da irrigação. Em comparação com as plantas SRH, as plantas CRH apresentaram uma redução de 33,0; 9,7; 83,5 e 49,5% de A nos períodos 0, 2, 7, 8 dias de déficit hídrico respectivamente.

Em relação à condutância estomática (figura 3B), pode-se observar que as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram valores semelhantes aos valores apresentados pelas plantas controle. A redução de  $g_s$  nas plantas SRH no 8º dia sob a imposição dos tratamentos pode ser devido ao aumento da temperatura nesse período, que foi de 44°C. A redução da condutância nas plantas CRH foi maior devido à deficiência de água a que foram expostas as plantas. Em comparação com as plantas SRH, as plantas CRH apresentaram uma redução de 22,2; 4,3; 23,1; 87,7% de  $g_s$  nos períodos 0, 2, 7, 8 dias de déficit hídrico respectivamente. Segundo Gholz et al. (1990), baixa disponibilidade de água no solo causa um declínio no potencial da água na folha, reduzindo a turgidez celular e a condutância estomática.

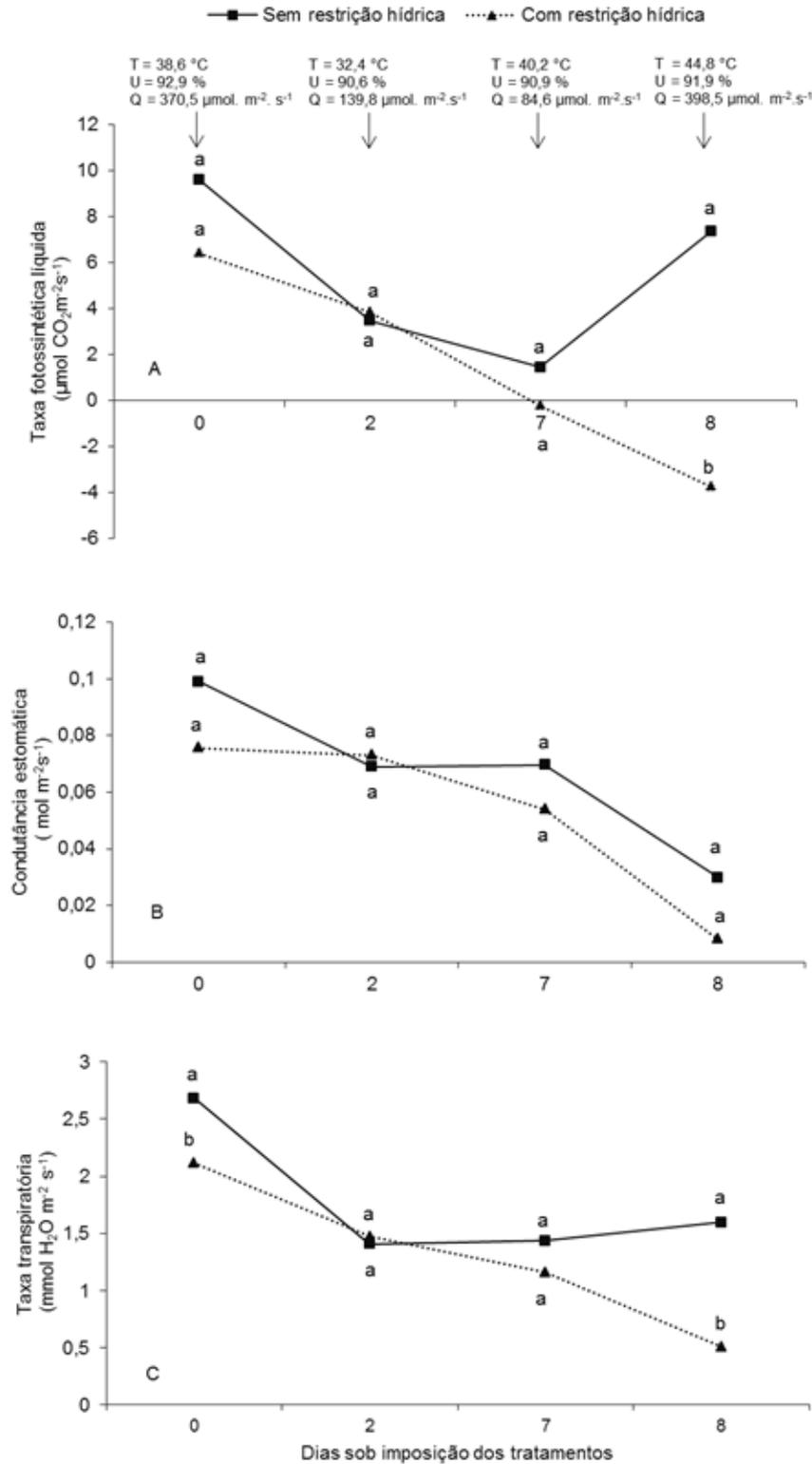


Figura 3. Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (B) e taxa transpiratória (C) em plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica antes da colheita. Cada símbolo representa média de 4 repetições. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente, segundo o teste de Tukey em 5% de probabilidade. As setas representam T (temperatura máxima do ar, °C), U (umidade relativa máxima do ar, %) e Q (fluxo de fótons fotossintético máximo,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) dentro da casa de vegetação em cada período de estresse.

A abertura dos estômatos é influenciada por vários fatores ambientais (Bray, 1997). As plantas em solo com baixo teor hídrico têm um aumento na produção de ABA pelas raízes (Davies e Zhang, 1991). Este hormônio induz o fechamento estomático para limitar a perda de água. Para Bray (1997), o maior sinal de ocorrência de estresse por deficiência hídrica nas plantas é a produção desse hormônio, apesar de que não é somente a restrição hídrica que induz à produção de ABA.

No tratamento sem restrição hídrica no solo, a taxa transpiratória foi maior, quando comparados com as plantas sob limitação hídrica (Figura 3C). Em plantas sem restrição, observou-se uma variação na transpiração ao longo do tempo de imposição dos tratamentos, isso pode ter acontecido devido a uma alteração da temperatura, como mostra nas setas na figura 3A, o valor de T nos períodos: 0, 2, 7 e 8 dias de imposição dos tratamentos foi 38,6; 32,4; 40,2 e 44,8 °C respectivamente. Em comparação com as plantas SRH, a plantas CRH apresentaram uma redução de 21,2; 5,0; 18,8 e 68,55% de E nos períodos 0, 2, 7, 8 dias de déficit hídrico respectivamente. As plantas SRH transpiraram mais quando os valores de temperatura foram maiores que 38,6°C, já as plantas CRH apresentaram menor valor, devido à redução da condutância estomática, que sucedeu em resposta à condição de estresse que se estabeleceu. Com isso, as plantas regularam a sua transpiração pela diminuição da condutância foliar, a fim de evitarem a perda de água para o ambiente (Sperry, 2000). Diminuições na taxa transpiratória também foram verificadas em variedades de cana-de-açúcar (Gonçalves et al., 2010) e em genótipos de milho (Cruz, 2006) submetidos à restrição hídrica.

A Figura 4 mostra a relação entre a condutância estomática e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, observa-se que à medida que o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  aumentou houve um decréscimo em  $g_s$  nas plantas com e sem restrição hídrica. Esse resultado pode explicar a redução da  $g_s$  em plantas SRH no 8º dia (Figura 3B), mesmo a planta estando irrigada, quando o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  apresenta valor alto as plantas tendem a fechar os estômatos para minimizar a perda de água. Como também foi mostrado na (Figura 1C), durante todo o experimento o maior valor de  $DPV_{\text{ar}}$  foi no 8º dia sob a imposição dos tratamentos com valor de 6,5 KPa. Eamus e Shanahan (2002) mostraram que a resposta de  $g_s$  ao  $DPV$  depende da condição hídrica das folhas, constituindo a condutância mais sensível a baixos

potenciais da água. Segundo Schulze e Hall (1982), a queda da condutância estomática com o aumento do DPV é comportamento conhecido e essencial para a sobrevivência das plantas, mantendo seu status hídrico. Os estômatos regulam sua abertura para impedir a desidratação à medida que o DPV aumenta (Streck, 2003).

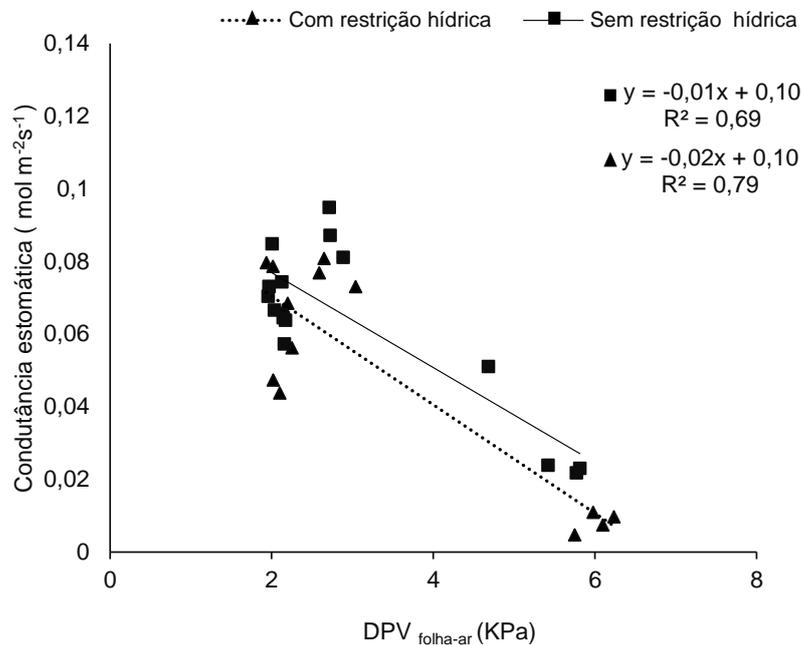


Figura 4. Relação entre a condutância estomática e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{folha-ar}$ ) em plantas de *C.citratrus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica antes da colheita.

#### 4.2. Índice SPAD

Com base na figura 5, observa-se que em plantas sem restrição não foi observada diferença significativa no teor de clorofila durante a imposição da restrição hídrica, apresentando valor estimado em torno de 44,64 dessa variável até o final dos tratamentos. No entanto, em plantas CRH o índice SPAD foi afetado negativamente, apresentando um decréscimo linear dessa variável à medida que o período de suspensão da irrigação foi aumentando, apresentando no final do período experimental (13º dia de estresse) o valor estimado de 36,07 de índice SPAD. Esse resultado mostra que teor de clorofila foi sensível ao estresse hídrico submetido nesse trabalho. Segundo Torres-Netto et al. (2005),

leituras de SPAD menores de 40 observadas em folhas de *Coffea canephora* mostraram comprometimento no processo fotossintético da espécie.

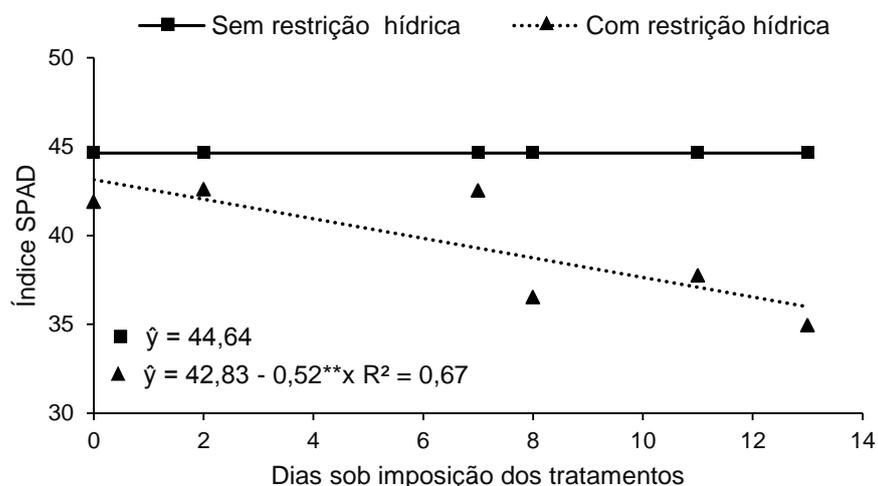


Figura 5. Índice SPAD de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios do teor de clorofila das plantas com e sem restrição hídrica. Observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, as plantas com estresse apresentaram menor valor de teor de clorofila em comparação com as plantas sem estresse. De acordo com Silva et al. (2014), plantas de cana-de-açúcar com longo tempo de seca, cerca de 90 dias, também tiveram redução no índice SPAD, sendo mais severa em genótipos susceptíveis. A degradação da clorofila é um dos efeitos do estresse hídrico, que resulta na perda da cor verde das folhas (Long et al., 1994).

Guimarães (2011) ao estudar o efeito da suspensão da irrigação durante 3, 10 e 20 dias em cana-de-açúcar, também observou reduções significativas no teor de clorofila aos 10 e 20 dias após o início do estresse hídrico.

Tabela 4: Valores médios do teor de clorofila (índice SPAD) de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH). Médias da avaliação de seis períodos.

Tratamentos	SPAD
SRH	44,6 A
CRH	39,3 B
CV(%)	7,0

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A redução da taxa fotossintética nas plantas CRH (Figura 3A), não foi por efeitos estomáticos, pois como observado no gráfico 3B, a condutância estomática entre os tratamentos não diferiria estatisticamente entre si. Então, essa redução de A pode estar relacionada com os efeitos não-estomáticos, como mostrado na Figura 5 e na tabela 4, as plantas com estresse apresentaram menores valores de teor de clorofila, indicando degradação da clorofila. As clorofilas são pigmentos que refletem a cor verde e estão diretamente associadas com o potencial da atividade fotossintética (Silva et al., 2013).

#### 4.3. Variáveis de crescimento

Nas Figuras 6 e 7, observou-se que as plantas sem restrição hídrica (SRH) apresentaram aumento linear no número de perfilhos e de folhas durante a imposição dos períodos de restrição hídrica. Porém, em plantas com restrição hídrica (CRH) não foi observada diferença significativa dessas variáveis em função dos períodos de suspensão da irrigação.

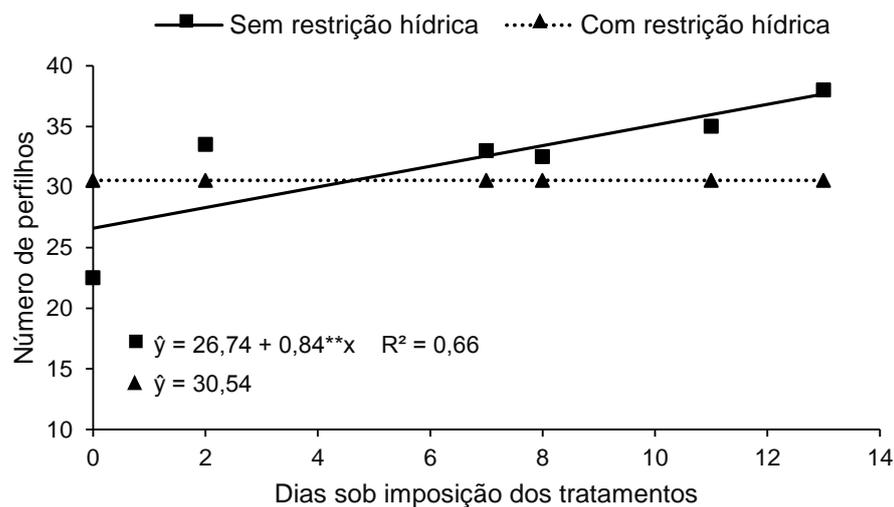


Figura 6. Número de perfilhos de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

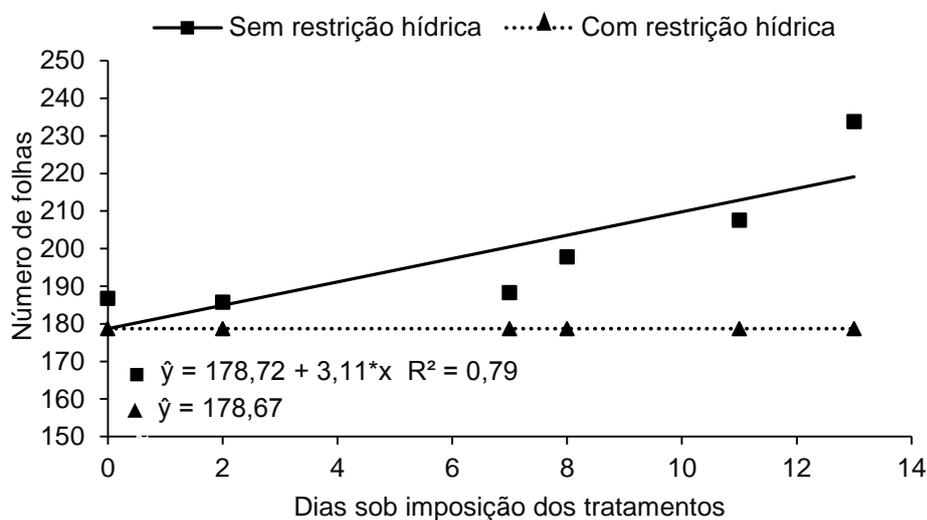


Figura 7. Número de folhas de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*Significativo em 5%.

Comparando-se o número de folhas obtidas das plantas CRH e SRH, observou-se que as plantas submetidas ao estresse hídrico apresentaram menor número de folhas, com uma redução de 10,6% (Tabela 5). Em relação ao número de perfilhos, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. O menor número de folhas em plantas sob restrição hídrica pode ser uma estratégia

de sobrevivência sob condições desfavoráveis, para impedir a perda de água por transpiração (Taiz e Zeiger, 2009).

Tabela 5: Valores médios do número de perfilho por planta (NPER), número de folha por planta (NFOL), comprimento da nervura central (CNC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz (MSPA/MSR) de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH). Médias da avaliação de seis períodos.

Tratamentos	NPER	NFOL	CNC (cm)	MSPA (g)	MSR (g)	MSPA/MSR (g.g <sup>-1</sup> )
SRH	32,45 A	199,95 A	52,39 A	166,70 A	29,20 A	5,84 A
CRH	30,54 A	178,66 B	48,27 B	147,85 B	28,12 A	5,44 A
CV (%)	17,8	14,9	3,1	18,4	23,1	14,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A partir do sétimo dia de estresse hídrico, foi observado em plantas CRH o enrolamento das folhas, como pode ser visto na Figura 8.

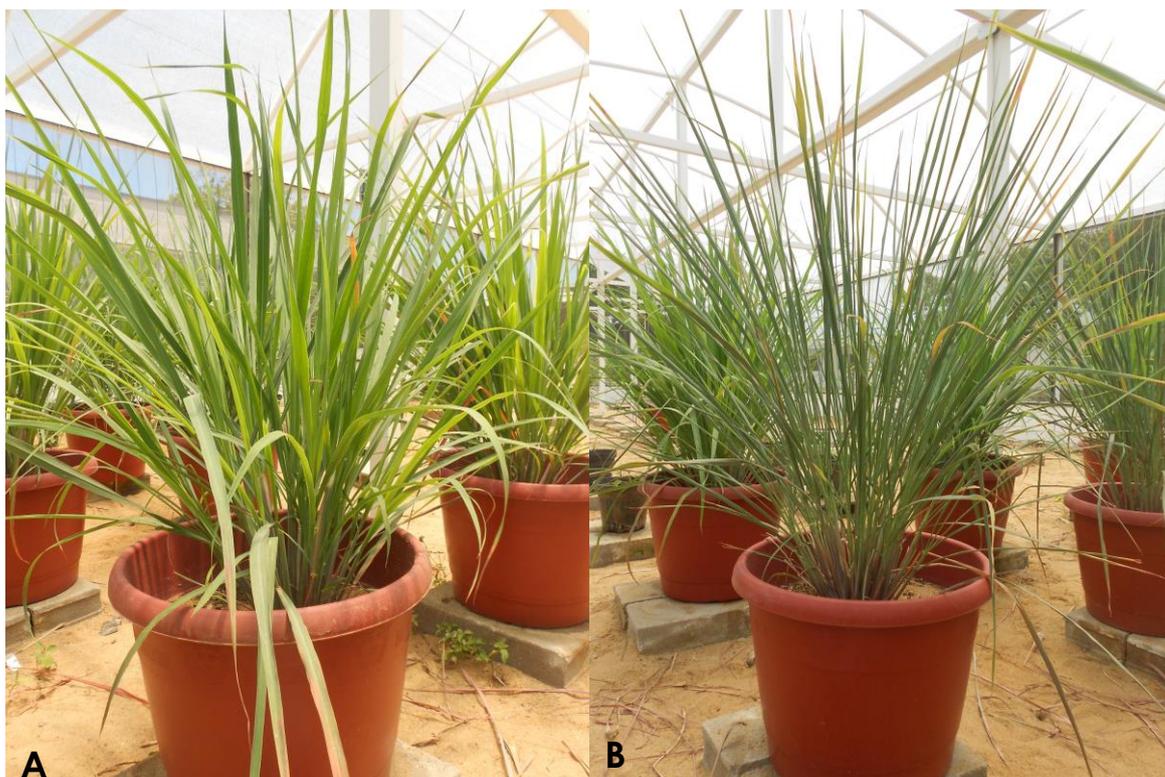


Figura 8. Aspecto visual da folha de planta de *C. citratus* durante a imposição dos tratamentos. Planta sem restrição hídrica (A) e planta com restrição hídrica (B).

Essa característica é uma das mais observadas em plantas submetidas à restrição hídrica no solo. A diminuição da área foliar pelo enrolamento da folha é considerada um importante mecanismo de adaptação da planta à restrição hídrica, pois reduz a transpiração, a fotossíntese e o consumo de água em tempos de alta demanda evaporativa (Alexandrino et al., 2008).

Os dados relativos ao comprimento da nervura central (CNC) (Figura 9), avaliado de dois em dois dias durante a imposição dos períodos de restrição, indicaram que a restrição hídrica comprometeu significativamente o CNC de folhas de *C. citratus*. Em plantas SRH, observou-se um aumento linear dessa variável durante os períodos de imposição dos tratamentos. As folhas dessas plantas apresentaram comprimento estimado de 73,54 cm no dia da colheita. As plantas CRH apresentaram um aumento linear no comprimento das folhas entre 0 e 6 dias de estresse hídrico, mas a partir de então se observou estabilização do crescimento em comprimento da nervura central, mantendo-se com 54,24 cm de comprimento até a data da colheita.

Independente do tempo de imposição da restrição hídrica, as plantas CRH apresentaram comprimento médio menor (48,27cm) comparado aos comprimentos observados nas plantas SRH (52,39 cm) (Tabela 5).

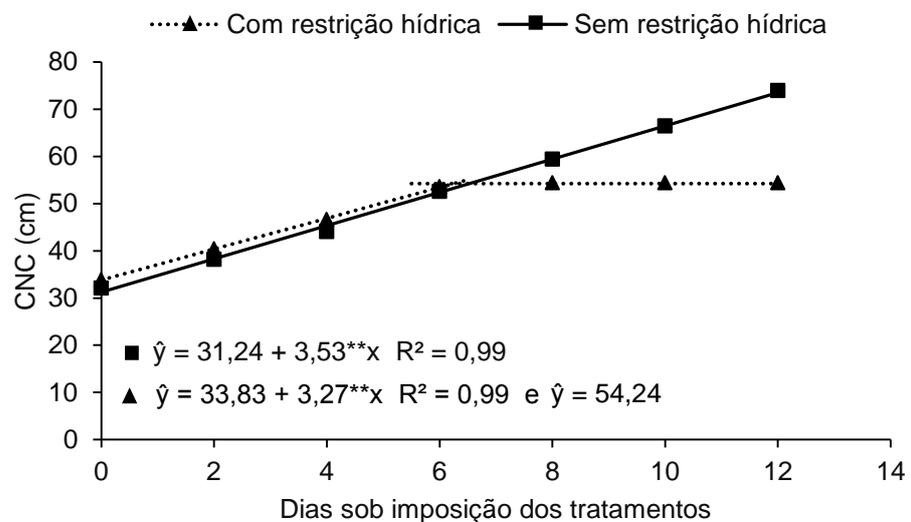


Figura 9: Comprimento da nervura central de folhas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

Em plantas SRH, observou-se um aumento linear da matéria seca da parte aérea (MSPA) em função dos dias sob a imposição dos períodos de restrição hídrica. O modelo quadrático foi o que melhor explicou o resultado da MSPA de plantas CRH em função dos períodos de suspensão da irrigação. Tais plantas apresentaram aumento na matéria seca entre o período 0 e 7 dias de estresse hídrico, atingindo o ponto estimado de máximo no sétimo dia de restrição com 165,5 g de MSPA, a partir desse dia houve decréscimo dessa variável (Figura 10). Ao se comparar as médias de MSPA de plantas CRH obtidas ao longo de todo o período experimental com as plantas SRH (Tabela 5), observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, as plantas CRH apresentaram menor valor de MSPA, com uma redução de 11,3%.

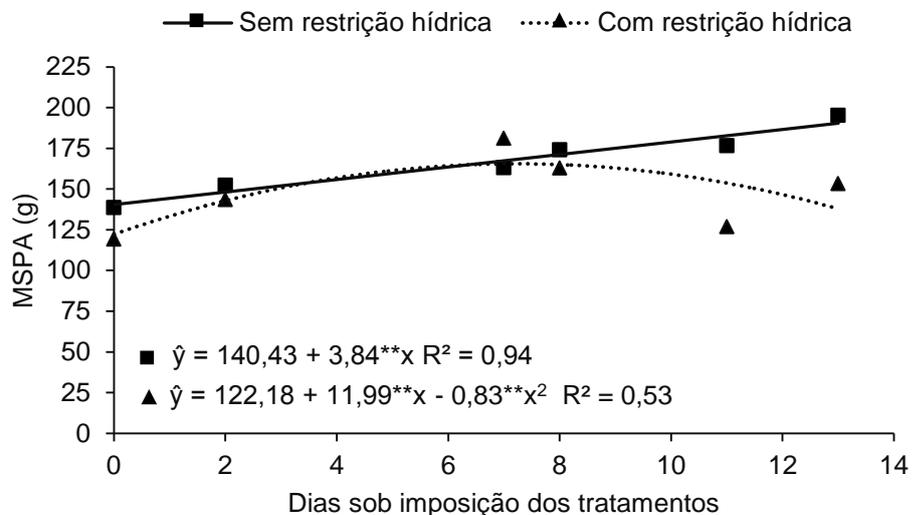


Figura 10. Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

Em relação à massa seca de raiz (MSR) de *C. citratus*, observou-se que as plantas SRH apresentaram aumento linear durante os períodos de imposição dos tratamentos. Em plantas com CRH, observou-se que as plantas foram influenciadas positivamente pelo déficit hídrico, ou seja, houve aumento linear de MSR em função do aumento do período de suspensão da irrigação antes da colheita (Figura 11). Segundo Santos e Carlesso (1998), em condições de restrição hídrica há maior crescimento das raízes, a expansão do sistema radicular é estimulada para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo,

objetivando aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes. Segundo Sharp e Lenoble (2002), o ABA produzido nas raízes impede a síntese de etileno admitindo o crescimento das raízes em condições de restrição hídrica no solo.

Entretanto, ao se comparar os valores médios de MSR de plantas CRH obtidos ao longo de todo o período experimental com as plantas SRH, observou-se que não houve diferença significativa entre si (Tabela 5).

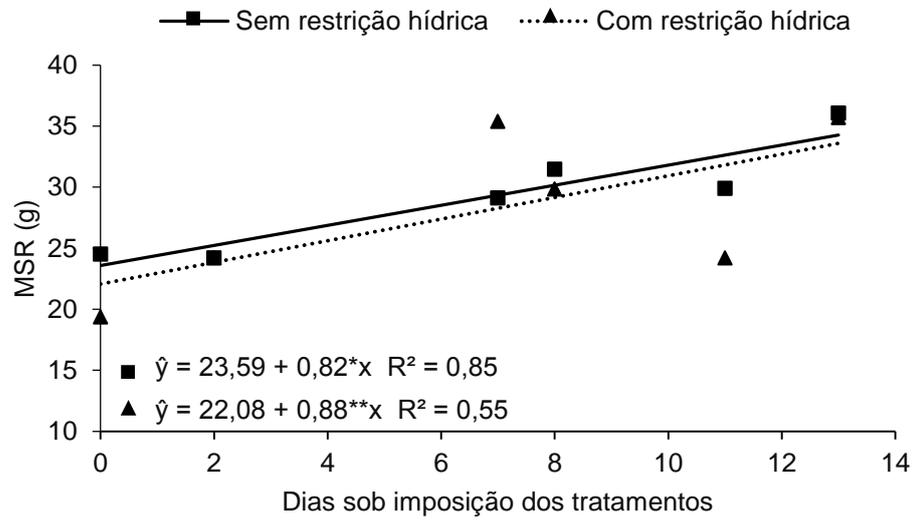


Figura 11. Massa seca de raiz (MSR) de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\*, \* = Significativo em 1 e 5%, respectivamente.

Quanto à razão MSPA/MSR verificou-se que o déficit hídrico influenciou negativamente as plantas de capim-limão. Em planta SRH, não foi observada diferença significativa da razão MSPA/MSR durante a imposição dos tratamentos, utilizando-se, assim, a média dessa variável. Em plantas CRH, tal variável decresceu linearmente em função do aumento do período de suspensão da irrigação (Figura 12). A redução da relação MSPA/MSR verificada neste trabalho indica que houve maior investimento em aumento da matéria seca das raízes em função do período de restrição como foi mostrado na Figura 11. No entanto, quando comparado os valores médios da razão MSPA/MSR de plantas CRH com a de plantas SRH, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5).

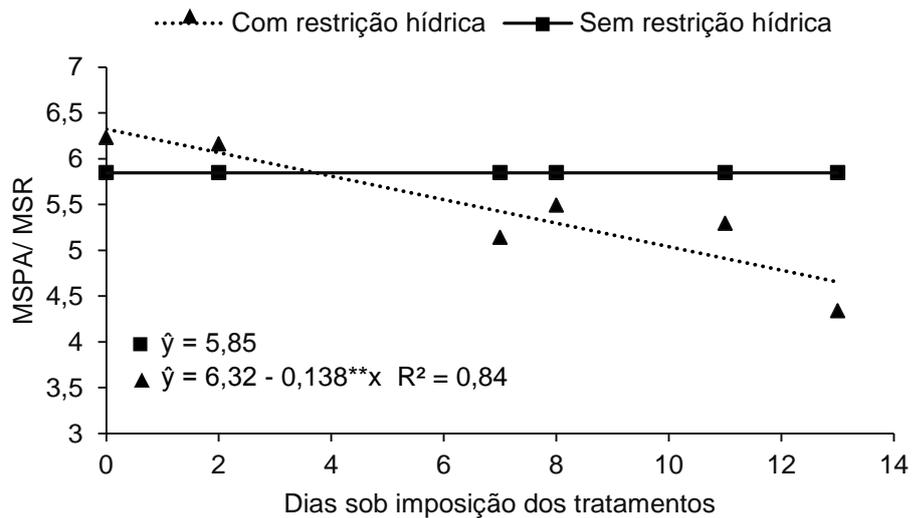


Figura 12. Relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz (MSPA/MSR) de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

Segundo Taiz e Zeiger (2009), a restrição hídrica tanto no crescimento inicial das plantas quanto nos estágios mais tardios, não limita somente o tamanho das folhas, mas também o número de folhas, o número e as taxas de crescimento dos ramos e o crescimento do caule. A diminuição no desenvolvimento da folha reduz o consumo de compostos de carbono e o gasto de energia, assim, maior quantidade de assimilados podem ser enviadas as raízes, sustentando seu crescimento para zonas do solo que continuam úmidas. Portanto, na ausência de água há desenvolvimento de raízes mais profundas (Kramer, 1974; Gholz et al., 1990; Larcher, 2000; Chaves et al., 2002).

Fatima et al. (2002) avaliaram o efeito do estresse hídrico sobre o crescimento em *Cymbopogon martinii* e *C. winterianus*, observaram que ambas as espécies quando submetidas à restrição hídrica também apresentaram redução no crescimento, na área foliar e na altura das plantas. Sangwan et al. (1994) ao investigarem o impacto do estresse hídrico leve e moderado em *Cymbopogon nardus* e *C. pendulus*, observaram também que as duas espécies exibiram o crescimento consideravelmente reduzido, com reduções consideráveis na altura da planta, bem como no comprimento da folha, na massa seca e na área foliar. E também não observaram alteração no perfilhamento.

#### 4.4. Teor de óleo essencial

Quanto ao teor de óleo essencial, observou-se que em plantas CRH o teor de óleo foi influenciado positivamente em relação às plantas SRH. As plantas sem restrição apresentaram valor estimado de teor de óleo em torno de 1,48% durante a imposição dos tratamentos, já em plantas com restrição, houve um aumento linear dessa variável em função do aumento do período de suspensão da irrigação, apresentando um acréscimo significativo de 1,39 para 1,65% do valor estimado de teor de óleo essencial à medida que o tempo de estresse aumentou (Figura 13).

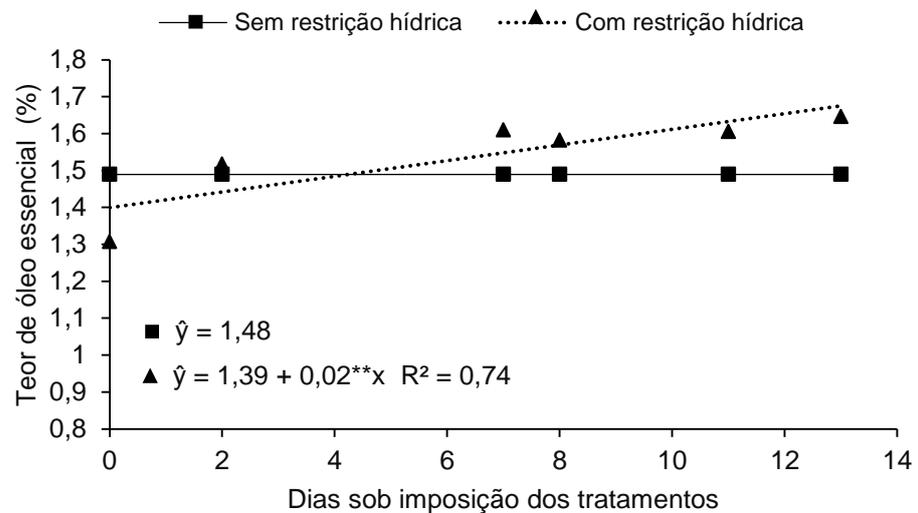


Figura 13. Teor de óleo essencial (%) em folhas de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem e com restrição hídrica em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita. \*\* Significativo em 1%.

Na Tabela 6, são apresentados os valores médios do teor de óleo essencial de plantas com e sem restrição hídrica. Notou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, o teor de óleo essencial de plantas CRH apresentou maior valor em relação às plantas SRH.

Tabela 6: Valores médios do teor de óleo essencial de plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH). Médias da avaliação de seis períodos.

Tratamento	Teor de óleo essencial (%)
SRH	1,48 B
CRH	1,54 A
CV(%)	6,2

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Corroborando com esse resultado, Pinto et al. (2014) ao avaliarem o efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e a composição do óleo essencial de *C. citratus*, observaram que maiores valores de lâmina de irrigação proporcionaram menores valores de rendimento de óleo, indicando que o déficit hídrico pode favorecer a produção de óleo. Sangwan et al. (1994) pesquisaram o efeito do estresse hídrico suave e moderado em *Cymbopogon pendulus* e observaram que o teor de óleos essenciais teve um aumento significativo em planta cultivada sob estresse. Figueiredo et al. (2006) e Koshima et al. (2006), trabalhando com *Cymbopogon citratus*, conseguiram maior teor de óleo essencial, quando as plantas foram submetidas a baixas temperaturas e clima seco. Fatima et al. (2002) avaliaram o efeito do estresse hídrico em *Cymbopogon martinii* e *C. winterianus* e observaram que ambas as espécies apresentaram redução na produção de óleo essencial e no conteúdo geraniol e citronelal, enquanto que o citronelol aumentou.

Com base nos dados fisiológicos e de óleo, Sangwan et al. (1994) demonstraram que as espécies de *Cymbopogon* são relativamente resistentes ao estresse hídrico, reduzem o seu crescimento, mas acumulam quantidades elevadas de óleo essencial em suas folhas. Tem sido sugerido que o aumento de óleo em algumas plantas sob estresse hídrico pode estar relacionado a uma elevada densidade de glândulas produtoras de óleo, em consequência da redução da área da folha, o que resulta no elevado rendimento de óleo acumulado (Charles et al., 1990; Sangwan et al., 1994). Para Turtola et al. (2003), a restrição hídrica reduz o crescimento das plantas, o carbono fixado durante a fotossíntese pode ser utilizado para a formação de compostos secundários.

Segundo Selmar e Kleinwächter (2013), devido ao estresse hídrico ocorre, como resposta metabólica, o fechamento dos estômatos e conseqüentemente a absorção de CO<sub>2</sub> diminui de forma significativa. Como resultado, o consumo de equivalentes redutores (NADPH) para a fixação de CO<sub>2</sub>, através do ciclo de Calvin diminui consideravelmente, gerando um grande excesso de equivalentes redutores. Como consequência, processos metabólicos são direcionados para a síntese de compostos altamente reduzidos, como, por exemplo, isoprenoides, fenóis ou alcaloides.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O *Cymbopogon citratus* é uma planta medicinal e aromática, usada na medicina popular de muitos países e cultivada para produção comercial de óleo essencial. Diversos fatores podem influenciar na produção dos óleos essenciais, entre eles estão os ambientais, os fatores fitotécnicos e os genéticos. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de diferentes períodos de estresse hídrico antes da colheita de capim-limão em função da capacidade fotossintética, do crescimento e do teor de óleo essencial.

O experimento foi realizado em casa de vegetação, pertencente ao Laboratório de Fitotecnia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes – RJ. As mudas de *Cymbopogon citratus* foram cultivadas em vasos (40L) com substrato composto de solo, areia e esterco bovino curtido (1:1:1). As mudas após o plantio foram regadas diariamente até a capacidade de campo. Após 90 dias de plantio, um grupo controle, continuou a ser regado. E o outro grupo foi submetido ao tratamento com estresse hídrico (irrigação suspensa). Após 0, 2, 7, 8, 11 e 13 dias de estresse hídrico as plantas foram avaliadas quanto ao teor de clorofila, ao crescimento, às trocas gasosas e aos teores de óleo essencial em *Cymbopogon citratus*. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 6, ou seja, 2 condições (plantas com estresse e sem estresse hídrico) e 6 períodos de estresse hídrico: 0, 2, 7, 8, 11, 13 dias de suspensão da irrigação antes da colheita.

Pode-se concluir que a restrição hídrica interferiu negativamente nas trocas gasosas, no teor de clorofila, no comprimento da nervura central, na massa seca da parte área e no número de folha. Entretanto, influenciou positivamente no aumento do teor de óleo essencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandrino, E.; Gomide, J.; Paciullo, D. (2008) Princípios morfológicos aplicados no manejo de pastagens. *Do campus para o campo–UFT-Editor Impacto, Goiânia-GO, 86p.*
- Almeida, M. D.; Botura, M. B.; Santos, M. M.; Almeida, G. N.; Luciana, F. D.; Costa, S. L. (2003) Efeitos dos extratos aquosos de folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Capim-santo) e de *Digitaria insularis* (L.) Fedde (Capim-açu) sobre cultivos de larvas de nematóides gastrintestinais de caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 12(3): 125-129.
- 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. D.; Casali, V. (1999) *Plantas medicinais e aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário*. Viçosa: UFV, 139p.
- Aquino, C. F.; Sales, N. D. L. P.; Soares, E. P. S.; Martins, E. R. (2012) Chemical characterization and action of essential oils in the management of anthracnose on passion fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(4): 1059-1067.
- Argenta, G.; Silva, P. D.; Bortolini, C. G.; Forsthofer, E. L.; Strieder, M. L. (2001) Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13(2): 158-167.
- Bonfim-Silva, E.; Da Silva, T. J. A.; Cabral, C. E. A.; Kroth, B. E.; Rezende, D. (2011) Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, 24(2): 180-186.

- Bortolo, D.; Marques, P.; Pacheco, A. (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.
- Bray, E. A. (1993) Molecular responses to water deficit. *Plant physiology*, 103(4): 1035-1040.
- Bray, E. A. (1997) Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, 2(2): 48-54.
- Cambráia, J. (2005) Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: Nogueira, R. A., E. De L.; Willadino, Lg. *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*, Recife: UFRPE, cap. 2. p. 95-105.
- Cardoso, M. G.; Shan, A. Y. K. V.; Pinto, J. E. B. P.; Delu Filho, N.; Bertolucci, S. (2001) *Metabólitos secundários vegetais: visão geral química e medicinal*. Lavras: UFLA, 81p.
- Carlson, L. H. C.; Machado, R. a. F.; Spricigo, C. B.; Pereira, L. K.; Bolzan, A. (2001) Extraction of lemongrass essential oil with dense carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 21(1): 33-39.
- 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.
- Cavalcanti, E. S. B.; Moraes, S. M. D.; Lima, M. a. A.; Santana, E. W. P. (2004) Larvicidal Activity of essential oils from Brazilian plants against *Aedes aegypti* L. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 99(5): 541-544.
- Charles, D. J.; Joly, R. J.; Simon, J. E. (1990) Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, 29(9): 2837-2840.
- Chaves, M. M.; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodrigues, M.; Ricardo, C. P. P.; Osorio, M.; 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.
- Cheel, J.; Theoduloz, C.; Rodríguez, J.; Schmeda-Hirschmann, G. (2005) Free radical scavengers and antioxidants from Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(7): 2511-2517.
- Corrêa Júnior, C. (1998) Influência das Adubações Orgânica e Mineral na Produção de *Camomila Chamomilla recutita* (L.) Rauschert e do Seu Óleo Essencial. In: Ming, L. C. C., Scheffer, M.C., Corrêa Jr., Barros, I. B.I., Mattos, F.J.A. *Plantas Mediciniais Aromáticas e Condimentares: avanços na pesquisa agronômica*, Botucatu: UNESP. p. 129-153.

- Coscolin, R. B. D. S. (2012) *Efeitos fisiológicos e bioquímicos induzidos por deficiência hídrica em plantas de Ocimum basilicum L.*. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - Botucatu – SP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas Câmpus de Botucatu , 96p.
- Costa, J. R. D.; De Pinho, J. L.; Parry, M. M. (2008) Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(5): 443-450.
- Craveiro, A. A.; Fernandes, A. G.; Andrade, C. H. S.; Matos, F. J. D. A.; Alencar, J. W. D.; E Machado, M. I. L. (1981) *Óleos essenciais de plantas do Nordeste*. Fortaleza: UFC, 209p.
- Cruz, R. F. D. D. (2006) *Indução e recuperação do stresse hídrico em variedades portuguesas de milho*. Dissertação (Mestrado em Biologia do Stresse em Plantas) - Braga - Portugal, Universidade do Minho, 182p.
- Davies, W. J.; Zhang, J. (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual review of plant biology*, 42(1): 55-76.
- Di Stasi, L. C.; Hiruma-Lima, C. A. (2002) *Plantas medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica*. 2 ed. São Paulo: Unesp, 604p.
- Eamus, D.; Shanahan, S. (2002) A rate equation model of stomatal responses to vapour pressure deficit and drought. *BioMed Central ecology*, 2(1): 1-14.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S. M. A. (2009) Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S. & Alberola, C. (Eds.), Sustainable Agriculture: Springer Netherlands*. p. 153-188.
- Fatima, S.; Farooqi, A. A.; Sharma, S. (2002) Physiological and metabolic responses of different genotypes of *Cymbopogon martinii* and *C. winterianus* to water stress. *Plant growth regulation*, 37(2): 143-149.
- Figueiredo, R. O.; Delachiave, M. E.; Ming, L. C. (2006) Reguladores vegetais na produção de biomassa e teor de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, em diferentes épocas do ano. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais* 8(3): 31-35.
- Franz, A. R.; Knaak, N.; Fiuza, L. M. (2011) Toxic effects of essential plant oils in adult *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)(Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(1): 116-120.

- Franz, C. (1983) Nutrient and water management for medicinal and aromatic plants. *Acta Horticulturae*, 132: 203-216.
- Freitas, F. P.; Freitas, S. P.; Lemos, G.; Vieira, I. J.; Gravina, G. A.; Lemos, F. J. (2010) Comparative larvicidal activity of essential oils from three medicinal plants against *Aedes aegypti* L. *Chemistry & biodiversity*, 7(11): 2801-2807.
- 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.
- Furtado, R. F.; De Lima, M. G.; Andrade Neto, M.; Bezerra, J. N.; Silva, M. G. D. V. (2005) Larvicidal activity of essential oils against *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). *Neotropical Entomology*, 34(5): 843-847.
- Gholz, H.; Ewel, K.; Teskey, R. (1990) Water and forest productivity. *Forest Ecology and Management*, 30(1): 1-18.
- Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. (2007) Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, 30(2): 374.
- Gomes, E. C.; Negrelle, R. R. B. (2003) *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf: Aspectos botânicos e ecológicos. *Visão Acadêmica*, 4(2): 137-144.
- Gonçalves, E. R.; Ferreira, V. M.; Silva, J. V.; Endres, L.; Barbosa, T. P.; Duarte, W. D. (2010) Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana de açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*: 378-386.
- Guimarães, A. C. R. (2011) *Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) submetidas a déficit hídrico*. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Guimarães, L. G. D. L.; Cardoso, M. D. G.; De Sousa, P. E.; De Andrade, J.; Vieira, S. S. (2011) Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. *Revista Ciência Agronômica*, 42(2): 464-472.
- Jesus, S. V. D.; Marengo, R. A. (2008) O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazônica*, 38(4): 815 - 818.
- Jones, H. G. (1992) *Plants and Microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. 2 ed. New York: Cambridge University Press, 428p.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra* Publications. *New Jersey: Climatology. Laboratory of Climatology*: 104.

- Koshima, F.; Ming, L.; Marques, M. (2006) Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e de citral em capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, com cobertura morta nas estações do ano. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8(4): 112-116.
- Kramer, P. J. (1974) Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiology*, 54(4): 463-471.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA, 531p.
- Leal, T.; Freitas, S. D. P.; Silva, J.; Carvalho, A. (2003) Produção de biomassa e óleo essencial em plantas de capim cidreira [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf] em diferentes idades. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 5: 61-64.
- Lewinsohn, E.; Dudai, N.; Tadmor, Y.; Katzir, I.; Ravid, U.; Putievsky, E.; Joel, D. M. (1998) Histochemical localization of citral accumulation in lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf., Poaceae). *Annals of Botany*, 81(1): 35-39.
- Long, S. P.; Humphries, S.; Falkowski, P. G. (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual review of plant biology*, 45(1): 633-662.
- Lopes, R.; Casali, V.; Barbosa, L.; Cecon, P. (2001) Influência de três regimes hídricos na produção de óleo essencial em sete acessos de *Polygonum punctatum* Ell. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 3(2): 7-10.
- Machado, B. F. M. T.; Junior, A. F. (2011) Óleos essenciais: aspectos gerais e usos em terapias naturais. *Cadernos Acadêmicos*, 3(2): 105-127.
- Mahanta, J. J.; Chutia, M.; Bordoloi, M.; Pathak, M. G.; Adhikary, R. K.; Sarma, T. C. (2007) *Cymbopogon citratus* L. essential oil as a potential antifungal agent against key weed moulds of *Pleurotus spp.* spawns. *Flavour and fragrance journal*, 22(6): 525-530.
- 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.
- 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.
- Martins, M. B. G.; Martins, A.; Telascrêa, M.; Cavalheiro, A. (2004) Caracterização anatômica da folha de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Poaceae) e perfil químico do óleo essencial. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 6(3): 20.

- Miranda, V. C.; Leal, T. C. a. D. B.; Cardoso, D. P.; Miranda, V. C.; Dos Santos, V. M. (2013) Evaluation of the effect of time of cutting on the content of the essential oil of the holy grass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf). *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4(1): 55-59.
- Mohawesh, O.; Al-Absi, K. (2009) Physiological response of two apple genotypes to different water regimes under semiarid conditions. *Advances in Horticultural Science*, 23(3): 158-165.
- Montanari Jr, I. (2000) Aspectos do cultivo comercial de calêndula. *Revista Agroecológica*, 1(2): 24-25.
- Nascimento, I. D.; Innecco, R.; Marco, C. A.; Mattos, S. H.; Nagao, E. O. (2003) Efeito do horário de corte no óleo essencial de capim-santo. *Revista Ciência Agronômica*, 34(2): 169-172.
- Ortiz, R. S.; Marrero, G. V.; Navarro, A. L. T. (2002) Instructivo técnico del cultivo de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (caña santa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7(2): 89-95.
- Pagter, M.; Bragato, C.; Brix, H. (2005) Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81(4): 285-299.
- Palevitch, D. (1986) Recent advances in the cultivation of medicinal plants. *Acta Horticulturae*, 208: 29-36.
- Paranagama, P. A.; Abeysekera, K. H. T.; Abeywickrama, K.; Nugaliyadde, L. (2003) Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.(lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. isolated from stored rice. *Letters in applied microbiology*, 37(1): 86-90.
- Pereira, R. S.; Sumita, T. C.; Furlan, M. R.; Jorge, A. O. C.; Ueno, M. (2004) Atividade antibacteriana de óleos essenciais em cepas isoladas de infecção urinária. *Revista de Saúde Pública*, 38(2): 326-328.
- Peres, L. (2004) *Metabolismo secundário*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1-26p.
- Pinto, D. A.; Mantovani, E. C.; Melo, E. D. C.; Sedyama, G. C.; Vieira, G. H. S. (2014) Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista brasileira de plantas medicinais* 16(1): 54-61.
- Prins, C. L.; Paiva, F. S. D.; Campostrini, E.; Amaral, G. G. D.; Oliveira, R. F. D. (2008) Efeito do confinamento do sistema radicular sobre capim-limão (*Cymbopogon citratus*). *Revista Ciência Agronômica*, 39(3): 416-421.

- Raven, P.; Evert, R.; Eichhorn, S.; Raven, P.; Evert, R.; Eichhorn, S. (2001) A composição molecular das células vegetais. In: Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (Ed.). *Biologia Vegetal*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 17-39.
- Ribeiro, M. S. (2012) *Efeitos da aplicação diferencial de água no substrato sobre a capacidade fotossintética, relações hídricas e crescimento inicial em cana-de-açúcar*. Tese ( Mestrado em Produção vegetal) - Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 153p.
- Rodríguez-Concepción, M. (2006) Early steps in isoprenoid biosynthesis: multilevel regulation of the supply of common precursors in plant cells. *Phytochemistry Reviews*, 5(1): 1-15.
- 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.
- Roel, A. R. (2001) Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, 1(2): 43-50.
- Rojas, J.; Ronceros, S.; Palacios, O.; Sevilla, C. (2012) Efecto anti-*Trypanosoma cruzi* del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (hierba luisa) en ratones Balb/c. *Anales de la Facultad de Medicina* 73(1): 7-12.
- Rozwalka, L. C.; Lima, M.; Mio, L. D.; Nakashima, T. (2008) Extratos, decoctos e óleos essenciais de plantas medicinais e aromáticas na inibição de *Glomerella cingulata* e *Colletotrichum gloeosporioides* de frutos de goiaba. *Ciência Rural*, 38(2): 301-307.
- Salerno, A. R.; Agostini, I.; Silva Júnior, A. A. (2004) *Normas técnicas para cultivo de capim-limão, citronela, palma-rosa e patchuli*. Florianópolis - SC: EPAGRI, 58p.
- Samarasekera, R.; Kalhari, K. S.; Weerasinghe, I. S. (2006) Insecticidal activity of essential oils of *Ceylon cinnamomum* and *Cymbopogon species* against *Musca domestica*. *Journal of Essential Oil Research*, 18(3): 352-354.
- Sangwan, N. S.; Farooqi, A. H. A.; Sangwan, R. S. (1994) Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New phytologist*, 128(1): 173-179.
- 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.

- Santos, R. F.; Carlesso, R. (1998) Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(3): 287-294.
- Santos, T. T.; Santos, M.; Mendonça, M.; Silva Junior, C.; Silva-Mann, R.; Arrigoni-Blank, M. D. F.; Blank, A. F. (2004) Efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e teor de óleo essencial em sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). *Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura*, 44, Campo Grande: SOB, v. 22, p. 1- 4.
- Schulze, E. D.; Hall, A. E. (1982) Stomatal responses, water loss and CO<sub>2</sub> assimilation rates of plants in contrasting environments. *In: Physiological plant ecology II*, Vol 12B, Berlin, Springer-Verlag: Springer. p. 181-230.
- 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.
- Sharp, R. E.; Lenoble, M. E. (2002) ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 53(366): 33-37.
- Silva, J. R. D. (2014) Análise de mudas de abacaxizeiro 'vitória' inoculado com bactérias promotoras do crescimento vegetal submetidas a estresse hídrico durante aclimatização. Tese ( Mestrado em Produção vegetal) - Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 143p.
- Silva, M. D. A.; Dos Santos, C. M.; Dos Santos Vitorino, H.; De Lima Rhein, A. F. (2013) Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, 30(1): 173-181.
- Silva, M. D. A.; Jifon, J. L.; Silva, J. a. G. D.; Santos, C. M. D.; Sharma, V. (2014) Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *The Journal of Agricultural Science*, 152: 104–118.
- Silva, S. R.; Demuner, A. J.; De Almeida Barbosa, L. C.; Casali, V. W. D.; Nascimento, E. A.; Pinheiro, A. L. (2002) Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Acta Scientiarum Agronomy*, 24(5): 1363-1368.
- Soares, C. S. A.; Silva, M.; Costa, M. B.; Bezerra, C. E. S. (2011) Ação inseticida de óleos essenciais sobre a lagarta desfolhadora *Thyrintina arnobia* (Stoll)(Lepidoptera: Geometridae). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6(2): 154 – 157.

- Souza, C. R. D.; Soares, Â. M.; Regina, M. D. A. (2001) Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(10): 1221-1230.
- Sperry, J. S. (2000) Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and forest meteorology*, 104(1): 13-23.
- Streck, N. A. (2003) Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. *Current Agricultural Science and Technology*, 9(4): 317-322.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2009) *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 819p.
- Torres-Netto, A.; Campostrini, E.; Oliveira, J. G. D.; Bressan-Smith, R. E. (2005) Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2): 199-209.
- 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): 1981-1995.
- Valeriano, C.; Piccoli, R. H.; Cardoso, M.; Alves, E. (2012) Atividade antimicrobiana de óleos essenciais em bactérias patogênicas de origem alimentar. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 14(1): 57-67.
- Valladares, F.; Niinemets, Ü. (2008) Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1): 237.
- Vargas, F. S.; Oliveira, C. F.; Giro, E. M.; Sacramento, L. V.; Spolidorio, D. M.; Costa, C. a. S. (2010) Efeito Antimicrobiano e Citotóxico do Óleo Essencial de *Cymbopogon citratus* sobre Células Odontoblastóides. *Revista Odontológica do Brasil Central*, 19(49): 101-107.
- Vieira Júnior, P.; Dourado Neto, D.; Oliveira, R.; Peres, L.; Martin, T.; Manfron, P.; Bonnacarrère, R. (2007) Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29(4): 555-561.
- Yanes, C. R. E. (2011) *Evaluación de la actividad repelente e insecticida de aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas utilizados contra Tribolium castaneum herbst (coleoptera: tenebrionidae)*. Tesis (Magíster en Toxicología) - Cartagena de Indias - Colombia - Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina departamento de toxicología Cartagena de Indias, 61p.

## APÉNDICE

Tabela 1A: Resumo da análise de variância do número de perfilho (NPER), do número de folha (NFOL), da massa seca da parte aérea (MSPA), da massa seca da raiz (MSR), da relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz (MSPA/MSR), do teor de clorofila (índice SPAD), do teor de óleo essencial (TEOR) de *C. citratus* de acordo com as condições sem e com restrição hídrica em função dos períodos de suspensão da irrigação antes da colheita.

F.V.	G.L.	Quadrado médio						
		NPER	NFOL	MSPA	MSR	MSPA/MSR	SPAD	TEOR
Condição	1	44,0 <sup>ns</sup>	5440,0*	4263,4*	14,1 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	333,9**	0,039**
Período	5	156,0**	949,1 <sup>ns</sup>	2492,4*	218,6**	1,81*	18,7 <sup>ns</sup>	0,041*
Período x Condição	5	34,6 <sup>ns</sup>	1703,1 <sup>ns</sup>	1206,7 <sup>ns</sup>	37,6 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	38,3**	0,022*
Resíduo	33	31,6	803,5	840,6	44,0	0,65	7,8	0,008
Média geral		31,5	189,3	157,2	28,6	5,64	42,0	1,51
CV(%)		17,8	14,9	18,4	23,1	14,3	7,0	6,2

\*\* , \* = Significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns=Não significativo. CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Tabela 2A: Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática ( $g_s$ ) de *C. citratus* de acordo com as condições sem e com restrição hídrica em função dos períodos de suspensão da irrigação antes da colheita.

FV	GL	Quadrado médio		
		A	$g_s$	E
Condição	1	122,1**	0,00162**	1,7**
Período	3	83,8**	0,00679**	2,7**
Período x Condição	3	49,9**	0,00031 <sup>ns</sup>	0,4*
Resíduo	21	8,0	0,00015	0,1
Média geral		3,5	0,059	1,5
CV(%)		29,7	20,7	20,4

\*\* , \* = Significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns=Não significativo. FV – Fonte de variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Tabela 3A: Resumo da análise de variância do comprimento da nervura central (CNC) de *C. citratus* de acordo com as condições sem e com restrição hídrica em função dos períodos de suspensão da irrigação antes da colheita.

FV	GL	Quadrado médio
		CNC
Condição	1	236,9**
Período	6	1057,4**
Período x Condição	6	148,6**
Resíduo	39	97,7
Média geral		50,3
CV(%)		3,14

\*\* , \* = Significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns=Não significativo. FV – Fonte de variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Tabela 4A. Valores médios do número de perfilho por planta (NPEF), do número de folha por planta (NFOL), da massa seca da parte aérea (MSPA), da massa seca da raiz (MSR), da relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz (MSPA/MSR) de plantas de *C. citratus* submetidas as condições sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH) em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita.

Período de restrição	NPERF		NFOL		MSPA		MSR		MSPA/MSR	
	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH
0	22,75	22,75	186,75	174,50	138,58	119,25	24,50	19,36	5,7	6,2
2	33,50	31,50	185,75	176,25	152,39	143,60	24,19	24,23	6,2	6,1
7	33,00	36,50	188,25	203,00	163,05	181,15	29,10	35,39	5,6	5,1
8	32,50	33,00	197,75	190,75	174,16	162,90	31,47	29,84	5,5	5,4
11	35,00	29,00	207,50	149,75	176,65	126,92	29,90	24,20	6,4	5,2
13	38,00	30,50	233,75	160,00	195,36	153,29	36,07	35,69	5,4	4,3
Media geral	32,4	30,5	199,9	178,6	166,6	147,81	29,20	28,11	5,80	5,38
CV(%)	17,8		14,9		18,4		23,1		14,3	

Tabela 5A. Valores médios do teor de clorofila (índice SPAD), do teor de óleo essencial (TEOR), da fotossintética líquida (A), da transpiração (E) e da condutância estomática ( $g_s$ ) de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH) em função dos períodos (0, 2, 7, 8, 11, 13 dias) de suspensão da irrigação antes da colheita.

Período de restrição	SPAD		TEOR		A		$g_s$		E	
	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH	SRH	CRH
0	41,85	41,9	1,45	1,30	9,58	6,40	0,099	0,075	2,68	2,11
2	44,50	42,60	1,49	1,51	3,48	3,82	0,069	0,072	1,40	1,47
7	44,70	42,52	1,50	1,63	1,46	-0,24	0,069	0,053	1,43	1,16
8	44,85	36,52	1,49	1,58	7,34	-3,74	0,029	0,008	1,59	0,50
11	47,27	37,75	1,49	1,60	-	-	-	-	-	-
13	44,65	34,95	1,50	1,64	-	-	-	-	-	-
Média geral	44,63	39,36	1,48	1,54	5,46	1,56	0,066	0,052	1,77	1,31
CV(%)	7,0		6,2		29,7		20,7		20,4	

- = Não foram realizadas avaliações de trocas gasosas, porque a taxa fotossintética em plantas CRH já havia reduzido muito com 7 dias de restrição hídrica.

Tabela 6A. Valores médios do comprimento da nervura central (CNC) de *C. citratus* submetidas aos tratamentos sem restrição hídrica (SRH) e com restrição hídrica (CRH) em função dos períodos de suspensão da irrigação antes da colheita. As medições foram feitas de 2 em 2 dias.

Dias de avaliações	CNC	
	SRH	CRH
0	32,07	33,87
2	38,20	40,45
4	44,05	46,65
6	52,62	53,62
8	59,42	54,45
10	66,42	54,45
12	73,95	54,45
Média geral	52,39	48,27
CV(%)	3,1	