

CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CEBOLINHA EM RESPOSTA A DIFERENTES NÍVEIS DE RESTRIÇÃO HÍDRICA

Mariane Pereira dos Santos Souza¹, Cláudia Lopes Prins^{2*}, Liliane Nunes Ribeiro¹, Cláudio Roberto Marciano³, Ivo José Curcino Vieira⁴, Silvério de Paiva Freitas⁵

¹ Mestranda, Fitotecnia/Olericultura, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ

² Docente, Fitotecnia/Olericultura, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. *Autor Correspondente: prins@uenf.br

³ Docente, Solos/Manejo do Solo e da Água, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

⁴ Docente, Química/Produtos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

⁵ Docente, Fitotecnia/Plantas Daninhas e Mediciniais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

Recebido: 28/02/2020; Aceito: 09/03/2021

RESUMO: A disponibilidade hídrica afeta a biossíntese de compostos voláteis, com efeito dependente de aspectos relacionados ao vegetal e ao manejo hídrico. A cebolinha (*Allium fistulosum* L.) é uma hortaliça condimentar amplamente utilizada na culinária mundial e seu aroma se deve à presença de compostos voláteis sulfurados. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos níveis de restrição hídrica sobre crescimento, fisiologia e produção de compostos voláteis em cebolinha. O experimento foi conduzido em ambiente protegido. Os tratamentos foram determinados de acordo com o fornecimento de água, relativos à reposição da água consumida tendo como referência o tratamento CONTROLE, i.e., reposição de 100% da água consumida (CONTROLE), reposição de 75% (MODERADO) e reposição de 50% (SEVERO). O experimento seguiu o DIC, com unidades amostrais constituídas por três vasos com cinco plantas cada, e quatro repetições por tratamento. A colheita foi realizada aos 29 dias após início dos tratamentos. Foram avaliadas: taxa transpiratória, resistência estomática, temperatura foliar, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea, número e diâmetro de perfilhos e a produção de compostos voláteis (hidrodestilação e análise GC-MS). O tratamento SEVERO resultou em aumento da temperatura foliar, redução da taxa transpiratória e maior resistência estomática. Quanto ao crescimento houve efeito da intensidade de estresse hídrico para o diâmetro de perfilhos, com redução significativa sob os tratamentos MODERADO e SEVERO. O composto dissulfeto de dipropenila foi negativamente influenciado pelo tratamento SEVERO. O diâmetro de perfilho mostrou-se como a característica mais sensível ao estresse hídrico.

Palavras-chave: *Allium fistulosum* L. Estresse hídrico. Metabólitos secundários. Hortaliças condimentares.

WELSH ONION GROWTH, PHYSIOLOGY AND VOLATILE COMPOUNDS IN RESPONSE TO WATER RESTRICTION LEVELS

ABSTRACT: Water availability affects volatile biosynthesis and its effects depend on plant aspects and water management. Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) is a vegetable widely used in culinary preparations and its aroma is due to volatile sulphur-compounds. This work aims to evaluate the effect of water restriction levels on welsh onion growth, physiology and volatile compounds. The experiment was carried out in a greenhouse. The treatments were composed of resupplying water according to that consumed by CONTROL plants as a reference, i.e., 100% of the water resupply capacity (CONTROL), 75% (MODERATE) and 50% (SEVERE). The experimental design was completely randomized, with three pots containing five plants each and four repetitions. Plants (shoot and root) were harvested 29 days after treatment. Transpiratory rate, stomata resistance, foliar temperature, shoot and root fresh masses, shoot dry mass, tiller number and diameter and volatiles (hydrodistillation and GC-MS) were evaluated. The SEVERE treatment increased foliar temperature and stomata resistance, while reducing transpiratory rate. For plant growth variables MODERATE and SEVERE treatments resulted in a reduced tiller diameter. The compound dipropenyl disulfete was negatively affected by SEVERE water restriction. Tiller growth was the variable most dramatically affected by water restriction, often occurring when other growth factors were unaffected.

Key words: *Allium fistulosum* L. Water stress. Secondary Metabolites. Culinary herbs.

INTRODUÇÃO

Allium é um importante gênero da família Alliaceae, com espécies distribuídas principalmente nas regiões temperadas e tropicais do mundo, fazendo parte deste as principais espécies de valor econômico, como cebola e alho (KUBEC *et al.*, 2013). A cebolinha, *Allium fistulosum* L., é uma hortaliça condimentar utilizada na culinária por seu aroma e sabor peculiares. As plantas condimentares, também chamadas de “especiarias” ou “temperos”, estão ligadas diretamente à história mundial e até hoje desempenham papel fundamental para economia e culinária (DALBY, 2010).

O valor condimentar de uma planta, geralmente, está associado ao teor de compostos voláteis (BIANCHI, 2015), oriundos do metabolismo secundário das plantas. Este é um processo complexo, susceptível à influência de fatores ambientais (luz, temperatura, solo, água, outros), fitotécnicos (época e forma de colheita, secagem, armazenamento, outros) e genéticos, que podem influenciar a qualidade e a quantidade destes (PAVARINI *et al.*, 2012).

Os tiosulfatos, compostos de enxofre voláteis, típicos das espécies de *Allium*, são responsáveis pelo aroma e gosto picante característicos das plantas do gênero. Alguns compostos sulfurados encontrados na espécie *A. fistulosum* são: Propanotiol, Sulfeto de dipropila, Sulfeto de alil metila, Prop-2-en-tiol, Sulfeto de alil metila, Sulfeto de alil propila, Sulfeto de dialila, Dissulfeto de dimetila, Dissulfeto de dipropila, Dissulfeto de metil propila, Dissulfeto de alil metila, Dissulfeto de alil propila, Dissulfeto de dialila, Trissulfeto de

dimetila, Trissulfeto de alil metila, Trissulfeto de dialila, Tetrassulfeto de alil metila, Tetrassulfeto de dialila, 2 - vinil -1,3 ditiano, Aliina, Alicina, Ajoeno (ZHANG *et al.*, 2019).

Dos recursos necessários ao desenvolvimento vegetal, a água é um dos mais importantes por ser essencial aos vários processos metabólicos das plantas. O efeito do estresse hídrico propicia declínio na taxa de crescimento, reduções da área foliar, do potencial hídrico das folhas, da síntese de proteína, da atividade enzimática e hormonal nas plantas. Afeta também o acúmulo de solutos e compostos antioxidantes, propicia o fechamento dos estômatos, reduzindo a difusão de CO₂ para o mesófilo foliar, podendo, assim, gerar redução na taxa fotossintética (BASU *et al.*, 2016).

Werner *et al.* (2020) verificaram que a partição de carbono entre metabolismo primário e secundário é alterada em resposta ao estresse, levando a um balanço negativo de carbono decorrente dos efeitos sobre a disponibilidade de CO₂. Os processos de alocação de assimilados entre metabolismo primário e secundário ainda não são claramente conhecidos, especialmente em resposta a fatores de estresse ambiental (WERNER *et al.*, 2020), mas os efeitos sobre a síntese de precursores e rotas metabólicas demonstram alterações que podem afetar a produção final de metabólitos secundários. Abadie, Bathellier e Tcherkez (2018) em estudo com variação da disponibilidade de CO₂, verificaram que o metabolismo de elementos como nitrogênio e enxofre foram alterados. Os autores observaram que a síntese do glutamato é regulada pela disponibilidade de carbono via atividade fotossintética. Desta forma, em função de diferentes níveis de restrição hídrica seriam possíveis alterações específicas na síntese de metabólitos secundários associadas ao crescimento e estado fisiológico das plantas.

Pesquisas que avaliaram a resposta de plantas submetidas ao estresse hídrico mostraram influência deste fator na produção de compostos secundários (BORTOLO; MARQUES; PACHECO, 2009; ALVARENGA *et al.*, 2011), variando em função do tipo, da duração e com a intensidade do estresse (GONZÁLEZ-CHAVIRA *et al.*, 2018). Considerando-se o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de níveis de restrição hídrica sobre o crescimento, fisiologia e produção de compostos voláteis em cebolinha, uma hortaliça condimentar amplamente utilizada na culinária.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (estufa agrícola do tipo arco, com dimensões 7 x 21 m; pé direito de 2,8 m; altura do arco 2 m; coberta com filme transparente de 150 µm e lateral com tela de 35% de sombreamento). A espécie alvo do estudo foi *Allium fistulosum* (cebolinha), cultivar ‘Todo ano evergreen – nebuka’, e a propagação foi realizada por meio de perfilhos.

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos (5,5 L), preenchidos com substrato comercial para hortaliças (casca de Pinus, turfa, carvão, vermiculita, NPK, micronutrientes, condutividade elétrica de 0,7 mS/cm, pH 5,8), que receberam como tratamentos três níveis de suprimento de água: CONTROLE (capacidade máxima de retenção de água no vaso), MODERADO (restrição hídrica de 25% em relação ao controle) e SEVERO (restrição hídrica de 50% em relação ao controle).

A capacidade máxima de retenção de água do recipiente foi estimada a partir da saturação por meio da imersão de 2/3 da altura do vaso, com substrato, em água, por 48 hs, seguindo-se à drenagem livre, ou seja, até cessar o escoamento do excesso de água, conforme Casaroli e Lier (2008). A capacidade máxima de retenção de água do vaso correspondeu ao volume de água retido (VAR) no vaso calculado pela diferença entre a massa após a saturação e a massa do substrato seco.

O tratamento CONTROLE correspondeu à reposição da massa de água evapotranspirada considerada como a diferença entre a massa saturada (VAR) e a massa observada diariamente. Constituíram os tratamentos MODERADO e SEVERO a reposição de 75% e 50% do volume aplicado ao tratamento CONTROLE, respectivamente.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituindo a unidade experimental por 15 plantas distribuídas em três vasos, com quatro repetições, por tratamento.

O crescimento foi avaliado por meio da determinação da: massa fresca da parte aérea e da raiz (logo após colheita); massa seca da parte aérea (após secagem em estufa com circulação forçada de ar, 60 °C, até peso constante, isto é, massa constante em três pesagens consecutivas); número de perfilhos; diâmetro dos perfilhos (mensurado com paquímetro digital).

A resposta fisiológica foi avaliada por meio da determinação da intensidade de verde (índice SPAD); transpiração, resistência estomática e temperatura foliar (porômetro); e conteúdo relativo de água.

Os compostos voláteis da parte aérea foram extraídos por hidrodestilação, em aparelho do tipo Clevenger, acrescentado 50 mL de água e em seguida 5 mL de hexano ao tubo coletor antes do início da extração, assim garantindo o contato do solvente com o conteúdo condensado e evitando recirculação do hexano. A extração foi realizada durante 2 hs, contadas a partir do início da condensação e acúmulo de material no tubo coletor do aparelho, ao final coletando-se a fase superior do óleo volátil com auxílio de pipeta graduada, e acrescentando-se sulfato de sódio anidro ao extrato para remoção da umidade. O material extraído foi então coletado e acondicionado em frasco de vidro âmbar, envolto em papel alumínio, e armazenado em freezer até a realização da análise de composição química.

A análise qualitativa do óleo essencial foi realizada em cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (GC-MS). Os compostos presentes no óleo essencial foram identificados considerando-se o maior índice de similaridade apresentado como base na biblioteca (NIST05) associando-se ao relato da literatura científica da ocorrência do composto na espécie. Para fins de comparação quantitativa entre tratamentos foi considerada a área do pico, a fim de remover interferências de compostos não identificados que podem influenciar no valor percentual normalmente apresentado.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($P \geq 0,05$) e realizado teste de médias (Tukey 5%) para os tratamentos significativos.

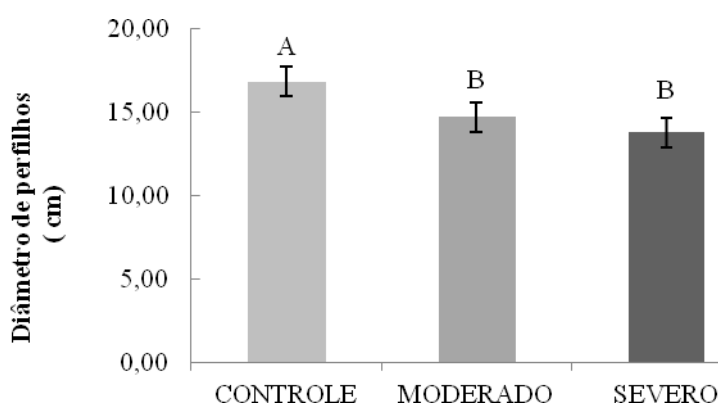
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento não foi afetado pelos níveis de restrição hídrica aplicados (Tabela 1), em relação às massas fresca ($26,23 \text{ gplanta}^{-1}$) e seca ($3,67 \text{ gplanta}^{-1}$) da parte aérea; massa fresca da raiz ($9,05 \text{ gplanta}^{-1}$); e ao número de perfilhos por planta (2,83). Entretanto, o diâmetro do perfilho (Figura 1) foi reduzido em plantas sob restrição hídrica (MODERADO e SEVERO) para 14,01 mm em relação às plantas CONTROLE, que apresentaram diâmetro médio de 17,12 mm.

Tabela 1. Variáveis de crescimento (massas fresca e seca da parte aérea – gplanta^{-1} ; número de perfilhos – $\text{unidadeplanta}^{-1}$; massa fresca de raízes – gplanta^{-1}) de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição hídrica; SEVERO – 50% de restrição hídrica). *Welsh onion (Allium fistulosum L.) growth variables (shoot fresh and dry masses – gplant^{-1} ; tiller number – unitplant^{-1} ; root fresh mass – gplant^{-1}) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

TRATAMENTOS	Massa fresca da parte aérea	Massa seca da parte aérea	Massa fresca de raízes	Número de perfilhos
	----- gplanta^{-1} -----			$\text{unidadeplanta}^{-1}$
CONTROLE	28,1	4,36	8,48	2,48
MODERADO	26,75	3,21	9,76	2,83
SEVERO	23,76	3,44	8,91	3,17
Média	26,23	3,67	9,05	2,83
CV	17,66	30,09	22,06	13,58

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%). *Mean values followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).*

Figura 1. Diâmetro de perfilho (mm) de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Welsh onion (Allium fistulosum) tiller diameter (mm) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

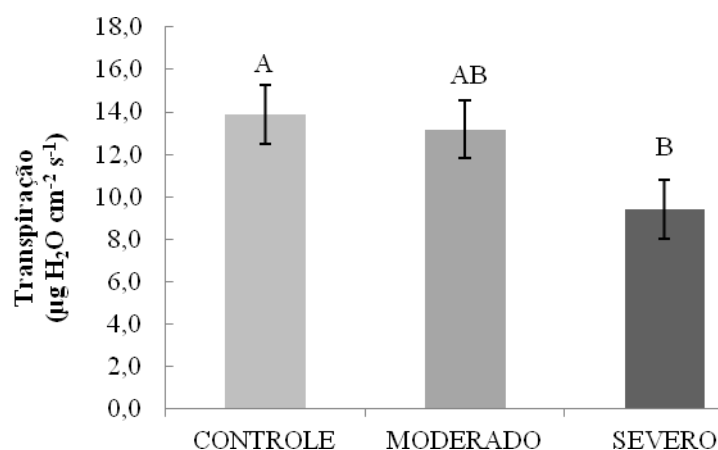
Fisiologicamente, apenas o conteúdo relativo de água (77,25%) e a intensidade da cor (índice SPAD: 33,72) não foram afetados pela restrição hídrica (Tabela 2). As trocas gasosas (Figura 2) e a temperatura foliar (Figura 3) foram afetadas negativamente apenas pelo tratamento SEVERO, enquanto os tratamentos MODERADO e CONTROLE não diferiram entre si.

A taxa transpiratória das plantas cultivadas sob o tratamento SEVERO foi reduzida em 67,83% em comparação ao CONTROLE ($13,89 \mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$). A resistência estomática no tratamento SEVERO ($2,437 \text{ s cm}^{-1}$) apresentou aumento de 1,7 vez o valor médio observado para os tratamentos CONTROLE ($1,3362 \text{ s cm}^{-1}$) e MODERADO ($1,424 \text{ s cm}^{-1}$), os quais não diferiram entre si.

Tabela 2. Variáveis fisiológicas (SPAD; CRA – conteúdo relativo de água) de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Welsh onion (Allium fistulosum) physiological variables (SPAD; CRA - RWC – relative water content) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

TRATAMENTOS	SPAD	CRA (%)
CONTROLE	32,86	80,42
MODERADO	33,37	76,60
SEVERO	34,92	74,74
Média	33,72	77,25
CV	11,52	13,12

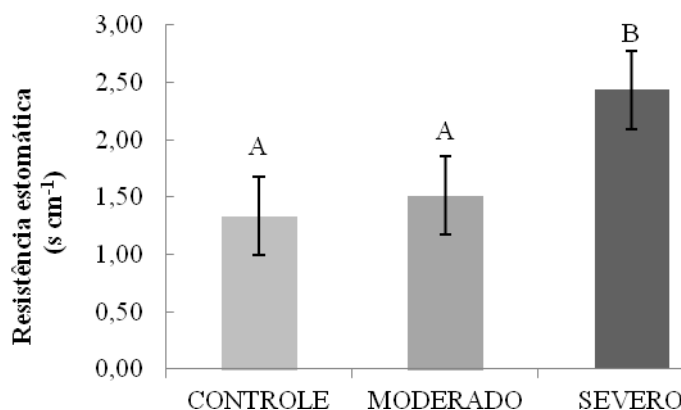
Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%). *Mean values followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).*

Figura 2. Transpiração ($\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Welsh onion leaf transpiration rate ($\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

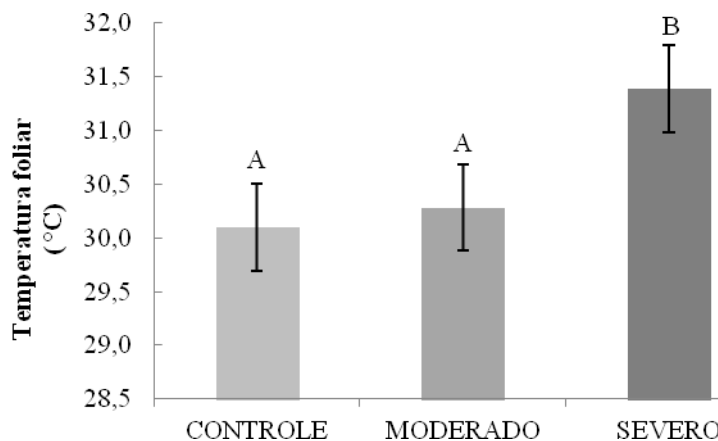


Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%). Mean values followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).

Figura 3. Resistência estomática (s cm⁻¹) em folhas de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Welsh onion (Allium fistulosum) leaf stomata resistance (s cm⁻¹) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

Fonte: Autoria própria. Own authorship.

A temperatura média foliar das plantas cultivadas sob o tratamento SEVERO superou em 1,20 °C a média do CONTROLE (30,10 °C) e a do tratamento MODERADO (30,19 °C), os quais não diferiram entre si (Figura 4).



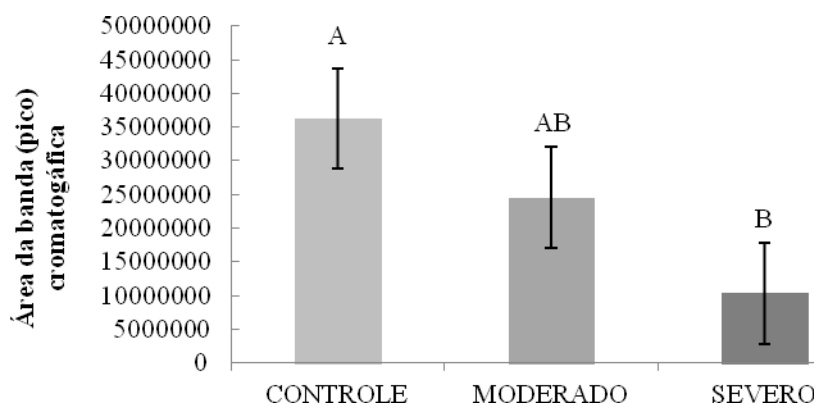
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%). Mean values followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).

Figura 4. Temperatura foliar (°C) em cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Welsh onion (Allium fistulosum) leaf temperature (°C) as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

Fonte: Autoria própria. Own authorship.

O composto volátil predominante em todas as amostras de folhas de cebolinha foi o dissulfeto de dipropenila. Este composto é característico quando a parte aérea de espécies do

gênero *Allium* são submetidas a processos de extração onde temperaturas são superiores a 100 °C (BLOCK, 1985), conforme ocorre na hidrodestilação. Esse composto foi reduzido 71,58%, em média, no tratamento SEVERO, conforme caracterizado pela área do pico correspondente significativamente menor neste tratamento em relação ao CONTROLE (Figura 5).



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%). *Mean values followed by the same letter do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).*

Figura 5. Percentuais de dissulfeto de dipropenila na fase volátil extraída de folhas de cebolinha (*Allium fistulosum*) em função de níveis de restrição hídrica (CONTROLE – sem restrição hídrica; MODERADO – 25% de restrição; SEVERO – 50% de restrição). *Dipropyl disulfide on volatile phase extracted from Welsh onion (*Allium fistulosum*) leaves as a function of water restriction levels (CONTROL – no water restriction; MODERATE – water restriction of 25%; SEVERE – water restriction of 50%).*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

A temperatura foliar superior nas plantas sob o tratamento SEVERO, em relação aos demais tratamentos, indica que este nível de estresse hídrico foi crítico para a cebolinha. O aumento da temperatura foliar é resultante, entre outros fatores, da menor taxa transpiratória, pois a presença da água da transpiração na superfície da folha proporciona um ambiente de menor temperatura (XU; ZHENG; YE, 2019), o que foi confirmado através da redução da taxa transpiratória nas plantas submetidas à restrição hídrica SEVERO.

A redução da taxa transpiratória é uma estratégia para preservação da água, obtida através do fechamento estomático, sendo a resistência estomática relacionada ao impedimento à passagem de gases. Assim, é possível inferir que a restrição hídrica imposta no tratamento SEVERO afetou as relações hídricas e trocas gasosas em cebolinha.

O conteúdo relativo de água (CRA), que expressa o estado hídrico dos tecidos e, conseqüentemente, das células, não foi afetado pela restrição hídrica. Em cebolinha a síntese de prolina, substância osmorreguladora, é observada sob condições de estresse (YIU *et al.*, 2009). Assim, o acúmulo de prolina pode ter contribuído para a manutenção do teor de água nos tecidos da planta.

O índice SPAD indica, indiretamente, que o teor de clorofila nas folhas não foi afetado pela restrição hídrica. Sob estresse hídrico a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) podem afetar moléculas como as clorofilas e proteínas. Porém, um sistema antioxidante

eficiente pode proteger as plantas dos efeitos deletérios dos EROs, como observado em espécies do gênero *Allium*, como *A. fistulosum* (STAJNER; VARGA, 2003) e *A. schoenoprasum* com ativação da atividade de enzimas como ascorbato peroxidase (EGERT; TEVINI, 2002).

Sistemas de resposta ao estresse foram ativados nas plantas de cebolinha resultando no acúmulo de substâncias osmorreguladoras e processos antioxidantes para proteção de estruturas celulares e do aparato fotossintético, assim num estado de redução da capacidade de trocas gasosas no nível de estresse mais severo. Tal condição não afetou o crescimento geral da planta, porém, reduziu o crescimento dos perfilhos.

Os bulbos de cebolinha não apresentam crescimento expressivo decorrente do acúmulo de reservas, o que resulta em formação de “bulbos não definidos”, porém fisiologicamente a produção de fotoassimilados é direcionada para este órgão assim como ocorre em cebolas (GESTEL *et al.*, 2005). Os bulbos são formados pelas bainhas foliares e seu crescimento em diâmetro é decorrente do intumescimento e perfilhamento (XIAO *et al.*, 2010).

A intensidade do estresse hídrico não afetou o perfilhamento. Os perfilhos em cebolinha são originados de gemas laterais e o crescimento destas está sob influências endógenas e exógenas, como hormônios e fatores ambientais, como frio e seca (HORVAT *et al.*, 2003; WAKCHAURE *et al.*, 2018) representando os principais fatores de controle. Já o aumento em diâmetro é decorrente do acúmulo de reservas na região basal do bulbo, assim o menor diâmetro caracteriza menor capacidade de produção de reserva (GESTEL *et al.*, 2005). Desta forma, é possível verificar que o crescimento do perfilho em diâmetro foi o primeiro processo de crescimento afetado significativamente pela restrição hídrica, mesmo em níveis moderados de estresse, uma vez que este aspecto já apresentava redução quando ainda não eram observados os efeitos sobre as trocas gasosas e relações hídricas.

O aroma característico da cebolinha é decorrente da presença de compostos voláteis contendo enxofre, que são biossintetizados a partir do aminoácido não proteico cisteína. A síntese dos precursores dos compostos sulfurados depende da disponibilidade de enxofre, nitrogênio e carboidratos (HESSE *et al.*, 2004). Devido à instabilidade dos compostos sulfurados a pungência em espécies do gênero *Allium* é quantificada através de um dos produtos da reação, o ácido pirúvico. Em cebola e cebolinha o estresse hídrico aumentou a produção de ácido pirúvico (DONG *et al.*, 2012; WAKCHAURE *et al.*, 2018). O aumento deste composto também foi observado por Ghodke *et al.* (2018) avaliando o efeito da inundação em cebola. Tais observações indicam que houve maior síntese de compostos sulfurados nestas condições. Ghodke *et al.* (2018) atribuíram o aumento da produção de ácido pirúvico ao aumento das espécies reativas de oxigênio. Em cebolinha Egert e Tevini (2002) verificaram aumento de espécies reativas de oxigênio e redução da atividade fotossintética sob inundação, no entanto, os autores não avaliaram os efeitos do estresse sobre a síntese de ácido pirúvico ou compostos sulfurados.

Considerando-se os resultados obtidos, que indicam a redução da disponibilidade de assimilados decorrentes do fechamento estomático e a interação entre metabolismo do carbono e do enxofre (OKU *et al.*, 2019), componente dos voláteis em cebolinha, a menor

disponibilidade de precursores foi a provável causa da redução na síntese de dissulfeto de dipropenila.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi observado que os níveis de restrição hídrica afetaram o crescimento, a fisiologia e a produção de metabólitos secundários de forma distinta. O crescimento dos perfilhos em diâmetro foi o aspecto mais sensível à restrição hídrica, sendo afetado antes dos efeitos sobre as trocas gasosas, que apresentaram alterações sob condições de restrição severa. O composto dissulfeto de dipropenila foi detectado em todas as amostras e apresentou redução significativa sob restrição hídrica severa. Desta forma, os níveis de restrição hídrica afetam de forma distinta o crescimento, fisiologia e produção de voláteis em *Allium fistulosum*.

AGRADECIMENTOS

À UENF pelo apoio institucional. À Dra. Gloria Cristina da Silva Lemos pela revisão do trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, C.; BATHELLIER, C.; TCHERKEZ, G. Carbon allocation to major metabolites in illuminated leaves is not proportional to photosynthesis when gaseous conditions (CO₂ and O₂) vary. **New Phytologist**, Reino Unido, v. 218, n. 1, p.94-106, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29344970/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

ALVARENGA, T. C.; SILVA NETO, H. F.; OGASSAVARA, F. O.; ARANTES, F. C.; MARQUES, M. O.; FRIGIERI, M. C. Polifenoloxidase uma enzima intrigante. **Ciência e Tecnologia - FATEC-JB**, Jaboticabal, v. 3, n. 1, p.83-93, 2011. Disponível em: <https://citec.fatecjaboticabal.edu.br/index.php/citec/article/view/60>. Acesso em: 13 jan. 2014.

BASU, S.; RAMEGOWDA, V.; KUMAR, A.; PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, Abingdon, v. 5, n. 1, p.1554, 2016. Disponível em: DOI: 10.12688/f1000research.7678.1. Acesso em: 06 out. 2018.

BIANCHI, A. The Mediterranean aromatic plants and their culinary use. **Natural Products Research**, Roma, v. 29, n. 3, p.201-206, 2015. Disponível em: DOI: 10.1080/14786419.2014.953495. Acesso em: 03 fev. 2019.

BLOCK, E. The Chemistry of Garlic and Onions. **Scientific American**, New York, v. 252, n. 3, p.114-121, 1985. Disponível em: DOI: 10.1038/scientificamerican0385-114. Acesso em: 21 fev. 2018.

BORTOLO, D. P. G.; MARQUES, P. A. A.; PACHECO, A. C. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 4, p.435-441, 2009.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722009000400012>. Acesso em: 05 ago. 2019.

CASAROLI, D.; LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.59-66, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>. Acesso em: 28 fev. 2021.

DALBY, A. **Sabores perigosos: a história das especiarias**. São Paulo: SENAC SP, 2010. 272 p.

DONG, D.; LIU, H.; SONG, S.; SUN, G.; CHEN, R. Effect of water stress induced by PEG on growth and quality of bunching onion. **Applied Mechanics and Materials**, London, v. 142, n. 1, p.116-119, 2012. Disponível em: DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.142.116 . Acesso em: 21 fev. 2018.

EGERT, M.; TEVINI, M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 48, n. 1, p.43-49, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00008-4). Acesso em: 09 fev. 2018.

GESTEL, N. C.; NESBIT, A. D.; GORDON, E. P.; GREEN, C.; PARÉ, P. W.; THOMPSON, L.; PEFFLEY, E. B.; TISSUE, D. T. Continuous light may induce photosynthetic downregulation in onion – consequences for growth and biomass partitioning. **Physiologia Plantarum**, Suécia, v. 125, n. 2, p.235-246, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00560.x>. Acesso em: 12 dez. 2017.

GHODKE, P. H.; SHIRSAT, D. V.; THANGASAMY, A.; MAHAJAN, V.; SALUNKE, V. N.; KHADE, Y.; SINGH, M. Effect of water logging stress at specific growth stages in onion crop. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v. 7, n. 1, p.3434-3448, 2018. Disponível em: DOI: 10.20546/ijcmas.2018.701.405. Acesso em: 15 out. 2019.

GONZÁLEZ-CHAVIRA, M. M.; HERRERA-HERNANDEZ, M. G.; GUZMÁN-MALDONADO, H.; PONS-HERNÁNDEZ, J. L. Controlled water stress as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding value of crops. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 234, n. 14, p.354-360, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.049>. Acesso em: 30 jul. 2019.

HESSE, H.; NIKIFOROVA, V.; KARIÈRE, B.; HOEFGEN, R. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: integration of nitrogen and sulphur metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 401, p.1283-1292, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh136>. Acesso em: 12 dez. 2017.

HORVAT, D. P.; ANDERSON, J. V.; CHAO, W. S.; FOLEY, M. E. Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 8, n. 11, p.534-540. 2003. Disponível em: DOI: 10.1016/j.tplants.2003.09.013. Acesso em: 21 fev. 2018.

KUBEC, R.; KREJCOVÁ, P.; MANSUR, L.; GARCÍA, N. Flavor precursor and sensory-active sulfur compounds in Alliaceae species native to South Africa and South America.

Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 61, n. 6, p.1335-1342, 2013. Disponível em: DOI: 10.1021/jf305179p. Acesso em: 21 fev. 2018.

OKU, S.; UENO, K.; TSURUTA, Y.; JITSUYAMA, Y.; SUZUKI, T.; ONODERA, S.; MAEDA, T.; SHIMURA, H. Sugar accumulation and activities of enzymes involved in fructan dynamics from seedling to bulb formation in onion (*Allium cepa* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p.147-155, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.013>. Acesso em: 15 out. 2019.

PAVARINI, D. P.; PAVARINI, S. P.; NIEHUES, N.; LOPES, N. P. Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 176, n. 1-4, p.5-16, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.002>. Acesso em: 09 mar. 2018.

STAJNER, D.; VARGA, I. S. An evaluation of the antioxidant abilities of *Allium* species. **Acta Biologica Szegediensis**, Szeged, v. 47, n. 1-4, p.103-106, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242241897_An_evaluation_of_the_antioxidant_abilities_of_Allium_species. Acesso em: 20 fev. 2018.

WAKCHAURE, G. C.; MINHAS, P. S.; MEENA, K. K.; SINGH, N. P.; HEGADE, P. M.; SORTY, A. M. Growth, bulb yield, water productivity and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by deficit irrigation regimes and exogenous application of plant bio-regulators. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 199, n. 1, p.1-10, 2018. Disponível em: DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.026. Acesso em: 08 fev. 2018.

WERNER, C.; FASBENDER, L.; ROMEK, K. M.; YÁÑES-SERRANO, A. N.; KREUZWIESER, J. Heat waves change plant carbon allocation among primary and secondary metabolism altering CO₂ assimilation, respiration and VOC emission. **Frontiers in Plant Science**, San Diego, v. 11, n. 1, p.1-17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01242>. Acesso em: 28 fev. 2021.

XIAO, J.; URESHINO, K.; HOSOYA, M.; OKUBO, H.; SUZUKI, A. Inheritance of bulb formation in *Allium schoenoprasum* L. **Journal of Japanese Society of Horticultural Science**, Yamaguchi, v. 79, n. 3, p.282-286, 2010. Disponível em: DOI: 10.2503/jjshs1.79.282. Acesso em: 21 fev. 2018.

XU, K.; ZENG, C.; YE, H. The transpiration characteristics and heat dissipation analysis of natural leaves grown in different climatic environments. **Heat and Mass Transfer**, Berlin, v. 56, n. 1, p.95-108, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02701-2>. Acesso em: 15 out. 2019.

YIU, J.; LIU, C.; FANG, D. Y.; LAI, Y. Waterlogging tolerance of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) enhanced by exogenous spermidine and spermine. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 47, n. 8, p.710-716, 2009. Disponível em: DOI: 10.1016/j.plaphy.2009.03.007. Acesso em: 09 fev. 2018.

ZHANG, N.; SUN, B.; MAO, X.; CHEN, H.; ZHANG, Y. Flavor formation in frying process of green onion (*Allium fistulosum* L.) deep-fried oil. **Food Research International**, Barking,

v. 121, n. 1, p.296-306, 2019. Disponível em: DOI: [10.1016/j.foodres.2019.03.006](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.006). Acesso em: 09 mar. 2018.