

Análise fotoquímica e de óleo essencial em citronela após corte do sistema radicular e da parte aérea

Taciana da Mata Daflon¹, Cristina Moll Hüther¹, Caíssa Machado Perucci Pereira dos Santos¹, Camila Ferreira de Pinho², Luiza Ferreira de Carvalho¹, Thamires Rodrigues de Sá Valle¹, Rubiana Pereira Borges¹, Thelma de Barros Machado^{1,3}, Carlos Rodrigues Pereira¹

¹Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas, 24210-240, Niterói, Brasil

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 23890-000, Rio de Janeiro, Brasil

³Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, 24241-000, Niterói, Brasil.

*Autor para correspondência: cristinahuther@yahoo.com.br.

RESUMO: O capim-citronela possui atividade repelente, ação fúngica e bactericida devido à ação de seu óleo essencial. Sendo assim, o objetivo foi comparar a capacidade fotoquímica com a produção de óleo essencial em plantas de citronela submetidas a diferentes níveis de cortes na parte aérea e nas raízes. O experimento teve um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (0, 25, 50, 75 e 100%) de cortes nas raízes, com 1 corte na parte aérea e dois cortes na parte aérea, com 4 repetições. Foram feitos ensaios de fluorescência transiente OJIP e pigmentos cloroplastídicos para os diferentes tratamentos. Para a extração dos óleos essenciais, o material vegetal foi coletado após diferentes datas. Para os dados da fluorescência da clorofila *a* realizados nas plantas de citronela após 30 dias do corte nas raízes e folhas e 165 DAC, todos esses tratamentos permaneceram acima do controle para os parâmetros PI_{abs} e PI_{total} que refletem o índice de performance, indicando assim a recuperação dessas plantas para esse período analisado. Em relação ao óleo essencial, as três substâncias encontradas em maior proporção, foram β -citronelal, β -citronelol e *trans*-geraniol e o tratamento que apresentou maior rendimento de óleo essencial foi o que não continha nenhum corte. Assim, verificou-se que para essas três substâncias analisadas não há necessidade de realizar desbastes na raiz nem cortes nas folhas.

Palavras-chave: fluorescência da clorofila *a*, teor de pigmentos, β -citronelal, β -citronelol, *trans*-geraniol

ABSTRACT: Photochemical and essential oil analysis in citronella after cutting of the root system and shoot. Citronella grass has repellent activity, fungal and bactericidal action due to the action of its essential oil. Thus, the objective was to compare the photochemical capacity with the production of essential oil in citronella plants submitted to different levels of cuts in the aerial part and in the roots. The experiment had a completely randomized design with five treatments (0, 25, 50, 75 and 100%) of cuts in the roots, with 1 cut in the aerial part and 2 cuts in the aerial part, with 4 replicates. Transient OJIP fluorescence assays and chloroplastidic pigments were performed for the different treatments. For extracting the essential oils, the plant material was collected after different dates. For the chlorophyll *a* fluorescence data on citronella plants after 30 days of root and leaf cut and 165 DAC, all of these treatments remained above the control for the PI_{abs} and PI_{total} parameters, which reflect the performance index, thus indicating the plants for this period. In relation to the essential oil, the three substances found in the highest proportion were β -citronelal, β -citronelol and *trans*-geraniol, and the treatment with the highest yield of essential oil did not contain any cuts. Thus, it was verified that for these three substances analyzed there is no need to perform thinning at the root nor cuts in the leaves.

Keywords: chlorophyll *a* fluorescence, pigment content, β -citronelal, β -citronelol and *trans*-geraniol

Recebido para publicação em 21/10/2018

Aceito para publicação em 30/03/2022

Data de publicação em 01/04/2022

ISSN 1983-084X

<https://doi.org/10.70151/ckwraq12>

© 2020 Revista Brasileira de Plantas Mediciniais/Brazilian Journal of Medicinal Plants.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUÇÃO

Em plantas medicinais, condimentares e aromáticas que produzam óleos essenciais, esses podem conter ações antimicrobiana e antifúngica, sendo esses princípios ativos, bem como outros compostos químicos podem ter ação contra microrganismos, sendo amplamente estudados para fins na agricultura (Correã et al. 2011; Lima et al. 2013).

A citronela ou capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) se destaca devido à grande produção de óleos essenciais, ricos em citronelal, que possui ação repelente contra insetos (Seixas 2012), no entanto, fatores ambientais como: latitude, altitude, temperatura, fotoperíodo, humidade relativa do ar, disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo, são fatores limitantes para a produção de metabólitos secundários, dentre esses, os óleos essenciais (Correã et al. 2013).

Durante o crescimento das plantas, há uma maior quantidade e qualidade dos metabólitos secundários, e o que pode alterar a produção são fatores como a idade da planta, condição de reprodução, estado de cultivo, opções metabólicas determinadas pelo efeito de hormônios, com ciclos de síntese de substâncias provocadas pela estação do ano ou hora do dia (Castro et al. 2010) e como sendo o metabolismo secundário dependente de produtos advindos do metabolismo primário, há a necessidade de comparar os efeitos de estresses tanto na parte aérea quanto radicular e como isto irá influenciar na produção de metabólitos de importância econômica, principalmente em espécies que produzam matéria-prima, como a citronela.

Sendo assim, o objetivo foi comparar a capacidade fotoquímica com a produção de óleo essencial em plantas de citronela submetidas a diferentes níveis de cortes na parte aérea e nas raízes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período compreendido entre março de 2015 e maio de 2016 na Universidade Federal Fluminense, Campus Universitário Gragoatá que possui latitude de 22°54'00" S, longitude de 43°08'00" W e altitude de 8 m, com uma temperatura média anual de 23 °C. As mudas de capim citronela, (*C. nardus*) que pertence à família Poaceae (Gramineae) foram plantadas em vasos de polietileno de oito litros, com solo arenoso, utilizando um espaçamento de 40 cm entre linhas e entre as plantas e a irrigação manteve-se na capacidade de campo. As plantas foram conduzidas por 5 meses até o início dos tratamentos, divididos em porcentagem diferenciada de desbastes nas raízes (0, 25, 75, 50 e 100%), sendo o primeiro

corte de todas as folhas e as diferentes proporções de cortes nas raízes.

As raízes foram cortadas dentro do recipiente com água e mantidas imersas nessa mesma água por 24 h e logo após replantadas nos potes de 8 l com o mesmo tipo de solo. Aos 90 dias pós corte (DAC) das raízes foi feito um segundo corte das folhas em algumas das plantas que já tiveram um corte na folha.

Medidas da fluorescência transiente das clorofilas *a* foram realizadas 30 DAC nas plantas com somente o corte das raízes, e nas plantas com corte na raiz e da parte aérea, sendo as realizadas em folhas jovens completamente expandidas e não destacadas e 165 dias em todos os tratamentos: corte nas raízes, corte nas raízes e 1 nas folhas, e corte na raiz e 2 cortes nas folhas. As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 min utilizando um fluorômetro portátil Modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments, King's Lynn, Norfolk, UK). A seguir um pulso saturante de 3.400 μmol fótons/ m^2s foi aplicado para a indução da fluorescência transiente OJIP. As intensidades de fluorescência transiente foram medidas entre 50 μs (fluorescência inicial - F0) e 1 s; obtidos os valores da fluorescência transiente foram calculados os parâmetros do Teste JIP proposto por Strasser et al. (1995) e Tsimilli-Michael et al. (2004).

A determinação do teor de pigmentos fotossintéticos foi feita espectrofotometricamente de acordo com Arnon (1949), aos 91 e 166 DAC em todos os tratamentos. Amostras de 0,15 g de tecido foliar proveniente das folhas foram maceradas na presença de acetona 80% e estimados pelas equações de Hendry et al. (1993) e expressos em μmol g/MF.

A extração foi realizada aos 83 dias após corte de raízes e folhas, por meio da técnica de hidrodestilação pelo aparelho Clevenger juntamente a um condensador (Bruneton, 1993). Para fazer a análise química dos óleos essenciais, os mesmos foram diluídos a 2% (v/v) em diclorometano e examinado em um cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (Shimadzu, QP 5000), equipado com detector de ionização de chama de hidrogênio e coluna capilar SBP-5 (30 cm de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno). Foram adquiridos os espectros de massas por meio de ionização por impacto de elétrons (70eV; 1 scan/s). (Adams 1995; Castro et al. 2007).

Os teores de pigmentos foram avaliados estatisticamente pelo programa computacional Programa Assistat 7.7. Análise de Variância – ANOVA, experimento em parcelas subdivididas com número de tratamentos $a = 5$, com número de tratamentos $b = 3$ e número de repetições = 3, ao nível de significância de 5% pelo Teste Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as análises o tratamento sem a aplicação de estresse por corte tanto na raiz quanto na parte aérea, apresenta resultado superior, sendo que a fluorescência da clorofila *a*, tem os maiores teores de pigmentos e de óleos essenciais.

Para as plantas que tiveram o corte nas raízes, a análise de fluorescência da clorofila *a* realizada 30 dias após o corte das raízes, o parâmetro que reflete o rendimento quântico efetivo de conversão da energia fotoquímica (FSII) (F_v/F_0), demonstrou que em todos os tratamentos com corte somente na raiz, houve uma suscetibilidade ao estresse. No entanto, somente o tratamento de 25% do corte na raiz, obteve uma resposta semelhante ao controle (Figura 1A). Quando aplicado concomitantemente o corte nas raízes e folhas após trinta dias, as plantas não apresentaram reduções nesse parâmetro (Figura 1B), permanecendo acima do controle, no entanto, após 165 DAC essas plantas deste tratamento (Figura 1D), bem como as do tratamento com dois cortes nas folhas (Figura 1C), apresentaram um menor rendimento em relação ao controle.

Nos parâmetros que expressam a eficiência máxima do fotossistema II (FSII) (F_v/F_m) e o rendimento quântico efetivo de conversão da energia fotoquímica (FSII) (F_v/F_0), em ambos os parâmetros os tratamentos de 50 e 100% no corte das raízes tiveram uma maior sensibilidade ao

estresse. Contudo, os demais tratamentos também demonstraram uma menor eficiência no processo fotossintético, somente o tratamento de 25 e 75% com corte nas raízes e dois cortes nas folhas é que obtiveram valores próximos ao controle.

No fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) e no fluxo de energia dissipada (Dio/RC), as respostas foram idênticas, onde, no tratamento com somente corte nas raízes, ficaram bem próximos ao controle (Figura 1A) e no tratamento com corte nas folhas e nas raízes (Figura 1B) todos os tratamentos ficaram abaixo do controle, mas sem grandes decréscimos. Entretanto, ao 165 DAC, as plantas apresentaram maior absorção por centro de reação nos tratamentos 50 e 100% do corte nas raízes e dois cortes nas folhas o que coincidiu com a maior dissipação nesses mesmos tratamentos, destacando-se o tratamento de 100%, com uma maior amplitude de dissipação (Figura 1C), o que demonstra uma tentativa da planta em contornar a situação de estresse, onde Martinazzo (2012), quando submeteu plantas de pêssego ao estresse por aumento de temperatura, avaliou que o fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) tem valores aumentados e conseqüentemente uma redução dos aceptores finais de elétrons do PSI em temperaturas altas. Essa resposta também foi verificada para as plantas do tratamento com corte nas raízes e somente um corte nas folhas (Figura 1D), em que todas as plantas absorvem mais, mas

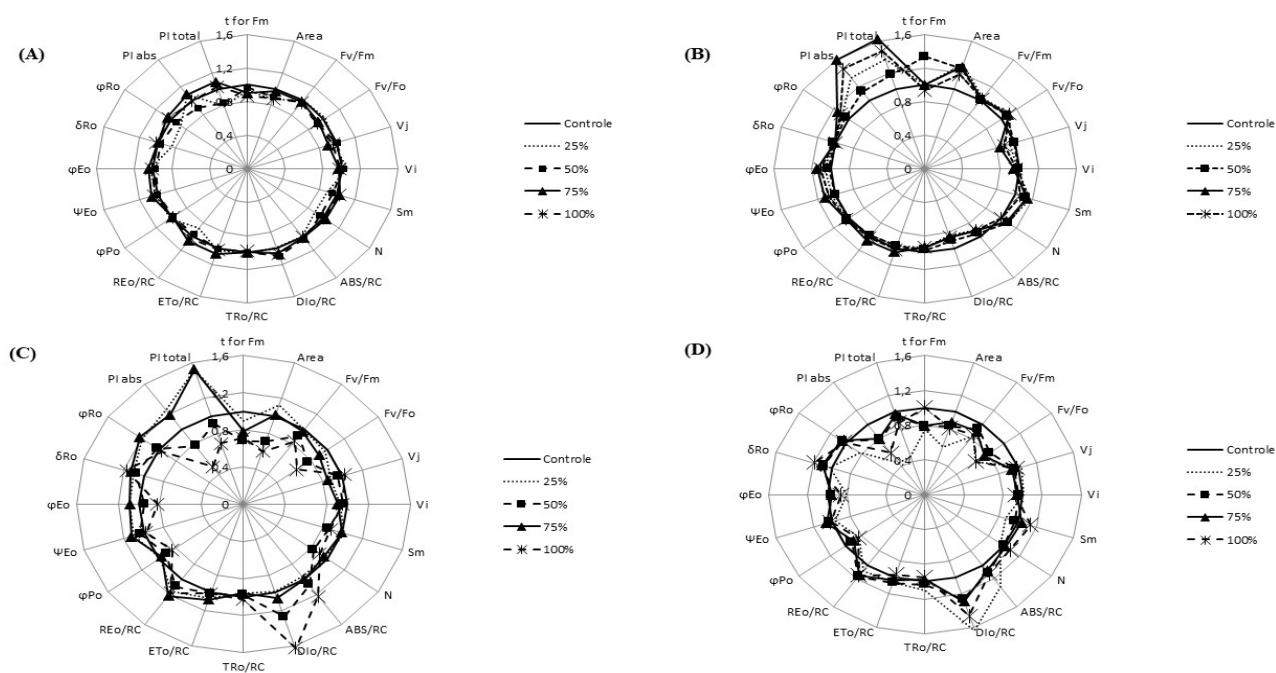


FIGURA 1. Parâmetros do Teste JIP, em relação ao respectivo controle, obtidos a partir da fluorescência transiente OJIP das clorofilas de plantas de citronela com diferentes proporções de desbaste nas raízes e com ou sem corte nas folhas; (A) 30 dias após o corte somente nas raízes (B) 30 dias após o corte nas raízes e um corte nas folhas (C) 165 dias após o corte nas raízes e dois cortes nas folhas (D) 165 dias após o corte nas raízes e um corte nas folhas.

também dissipam mais, sendo que o tratamento com 25% do corte nas raízes foi mais evidente em relação ao controle.

Os resultados de absorção e dissipação por centro de reação refletem nos parâmetros: i: do índice de performance total (Plabs); ii: índice de performance total (medindo a performance até os aceptores finais de elétrons do FSI) (Pltotal), em que no tratamento com corte nas raízes as plantas com 50% (Figura 1A), foram as únicas que ficaram abaixo do controle no parâmetro índice de performance total (Plabs). No entanto o índice de performance total (medindo a performance até os aceptores finais de elétrons do FSII) (Pltotal) nos tratamentos de 25% e 50%, onde o de 25% apresentou também abaixo nos parâmetros: Eficiência com que um elétron pode mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI (δR_o), Rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fóton absorvido (ϕR_o) e Redução dos aceptores finais do lado acceptor de elétrons do FSI no por RC em (R_{Eo}/RC), ou seja o problema estava no intersistema da cadeia de transporte de elétrons ou nos aceptores finais de elétrons do FSI.

Na Figura 1B, pode-se observar que mesmo as plantas terem absorvido menos por RC em todos os tratamentos comparadas ao controle, essas plantas apresentam uma performance (Plabs) superior ao tratamento controle.

Porém no tratamento onde as plantas receberam um corte na raiz e um nas folhas aos 165 dias (Figura1D), o índice de performance total (Plabs) e o índice de performance total (medindo a performance até os aceptores finais de elétrons do FSII) (Pltotal), de todos os tratamentos demonstram menor, sendo o tratamento de 25% foi o que apresentou menor (Plabs) (Plabs), o que se justifica pelo maior fluxo de energia dissipada por RC (D_{Io}/RC), ou seja, a energia que se manteve foi absorvida no FSII e influenciou no rendimento quântico máximo fotoquímico primário (ϕP_o) em que todos os tratamentos foram abaixo do controle,

demonstrando que o problema estava no início do FSII, em que foi o mais prejudicado conforme relatado na literatura e o mais sensível a diferentes tipos de estresse (Dabrowski et al. 2016; Essemine et al. 2017).

No tratamento de 100% onde as plantas receberam além do corte nas raízes, dois cortes na folha aos 165 DAC (Figura 1C), o índice de performance total (Plabs) é muito menor se comparado ao controle, devido ao alto fluxo de energia dissipada por RC (D_{Io}/RC) o que reflete também no menor rendimento quântico de transporte de elétrons de QA- para o intersistema de aceptores de elétrons (ϕE_o .)

Alguns autores relatam que a eficiência operacional do FSII usada em diferentes espécies de eucalipto foi o melhor parâmetro fotoquímico para a identificação de sensibilidade ao estresse por frio, onde as plantas apresentam diminuição de até 70% na eficiência do FSII e em plantas de acerola o estresse salino é o fator preponderante para a diminuição da eficiência do FSII (Sá et al. 2018, Schimpl et al. 2018), o que corrobora com o presente trabalho, pois o Plabs foi um dos índices que demonstrou que o estresse é maior quando causado concomitante nos sistema radicular e aéreo, ou seja que afeta o FSII. Sendo assim, a análise da fluorescência da clorofila a, pode-se detectar danos e alterações no aparelho fotossintético capazes de inibir processos metabólicos ligados a fotossíntese, inclusive relacionando com teores de pigmentos fotossintetizantes (Silva et al. 2009), pois o teor desses pode ser um fator importante para a eficiência da fotossíntese.

Assim, os teores de clorofila total, que reflete a soma das clorofilas a e b, no tratamento 100% no corte das raízes sem corte nas folhas aos 91 DAC, foi o menor devido a menor teor de clorofila b, se comparado ao controle. Sendo que o teor de clorofila total, foi 80,72% menor se comparado ao controle (Tabela 1).

A concentração total desses pigmentos, a proporção entre eles muda em função da intensidade

TABELA 1. Teores de clorofila a, b, carotenoides e clorofila total da citronela (*Cymbopogon nardus*) em relação aos diferentes níveis de corte na raiz, 91 DAC.

	Níveis dos cortes nas Raízes				
	0% Controle (sem cortes)	25%	50%	75%	100%
Clorofila a	1,48499 a	1,10300 a	0,99469 a	0,97866 a	1,14215 a
Clorofila b	6,14655 a	4,50328 ab	3,78150 b	4,10469 ab	0,32993 c
Carotenoides	0,33209 a	0,22539 b	0,22136 b	0,22311 b	0,24351 ab
Clorofila Total	7,63154 a	5,60627 ab	4,77619 b	5,08335 ab	1,47208 c

*As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

luminosa, pois um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e, conseqüentemente, ao crescimento é à adaptabilidade a diversos ambientes, inclusive ao conteúdo de clorofila e carotenoides (Rêgo et al. 2004).

Para o teor de clorofila total, aos 165 dias após corte das raízes DAC (Tabela 2), o tratamento onde as plantas tiveram 100% das raízes cortadas e sem o corte da parte aérea apresenta menor teor de clorofila total, assim como aos 91 dias, devido a diminuição de 93,67% no teor de clorofila b se comparado ao controle (dados não mostrados), já no tratamento de 75% nas raízes, quando comparado os tipos de cortes nas folhas foi o que mais diferiu, no teor de clorofila total, onde as plantas que tiveram um ou dois cortes nas folhas apresentam menores quantidades.

Percebe-se então, que nas maiores porcentagens de cortes nas raízes, 75% e 100% independente de corte nas folhas, são os tratamentos que tiveram os teores de clorofila total diminuídos pelo estresse, provavelmente causado pelo corte nas raízes.

Dessa maneira, pode-se inferir que o estresse que as plantas de citronela demonstraram, no metabolismo primário, seja pela fluorescência da clorofila a ou pelos teores de pigmentos, pode ter ocasionado um desequilíbrio no metabolismo secundário, que é refletido pela produção de óleo essencial (Farzadfar et al. 2017; Russo et al. 2017; Khayyat et al. 2018).

Com isso, nessas plantas foram identificadas nove substâncias no óleo essencial de *C. nardus*: β -citronelal, β -citronelol, *trans*-geraniol, acetato de citronelol, acetato de geraniol, β -cariofileno, β -cadineno, elemol e α -cadinol, que são classificadas como monoterpenos e sesquiterpenos, e as três substâncias encontradas em maior proporção nas análises, foram β -citronelal, β -citronelol e *trans*-geraniol (Figura 2).

Dentre as substâncias analisadas, a majoritária foi o β -citronelal para todos os

tratamentos, no entanto a maior concentração foi no tratamento sem cortes na raiz e nas folhas, ou seja, sem interação de cortes.

Em diferentes condições edafoclimáticas os constituintes majoritários do óleo essencial para citronela foram na seqüência de: geraniol, citronelol, citronelal, elemol, (*E*)-nerolidol e o β -cariofileno, respectivamente (Mahalwal et al. 2002; Castro et al. 2007;), o que diferiu em relação ao encontrado neste experimento, sendo assim, dependendo do tipo de situação exposta ao vegetal, os produtos do metabolismo secundário poderão apresentar diferentes composições, pois há vários fatores que podem alterar a composição química, como no teor dos óleos essenciais (Rocha et al. 2012).

Observa-se de maneira geral, que o tratamento com corte de 25% somente na raiz que apresentou menor rendimento em relação às três substâncias β -citronelal, β -citronelol e *trans*-geraniol em relação aos demais tratamentos e o controle foi o que obteve melhor resultado em relação as essas substâncias de importância econômica. No entanto, o tratamento com 75% de corte nas raízes e um corte nas folhas também apresentou maior produção de β -citronelal.

Comparando-se o tratamento com maior produção em relação ao que apresentou menor produção de β -citronelal, isso representou uma redução de 60,01% e para a substância β -citronelol, o tratamento de 25% com somente corte na raiz também foi o que demonstrou menor produção, em torno de 86,74% e novamente o controle foi o que obteve uma melhor resposta em relação ao rendimento. Mas, quando se comparam os tratamentos sem corte nas raízes e com corte nas folhas com o tratamento de 25% de corte nas raízes também e com corte nas folhas, não há grande diferença entre os rendimentos.

Assim, se o interesse for β -citronelal e β -citronelol, os tratamentos que apresentaram melhor rendimento foram às plantas que não continham cortes nas raízes e nem nas folhas, ou

TABELA 2. Teores de clorofila total da citronela (*Cymbopogon nardus*), em relação aos diferentes níveis do corte da raiz e das folhas (médias de interação), após 165 dias do corte da raiz.

Níveis dos cortes nas Raízes	Cortes na parte aérea		
	Sem corte	1 corte	2 cortes
0% Controle (sem cortes)	8,2057 abA	8,2128 aA	8,450 aA
25%	6,6732 abcA	6,3425 aA	7,9160 aA
50%	4,8037 bcA	7,3473 aA	7,4069 aA
75%	11,0097 aA	7,4258 aB	7,3351 aB
100%	1,7880 cA	1,2940 bA	1,6959 bA

*As médias seguidas pela mesma letra na coluna (minúsculas) e a mesma letra na linha (maiúsculas) não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

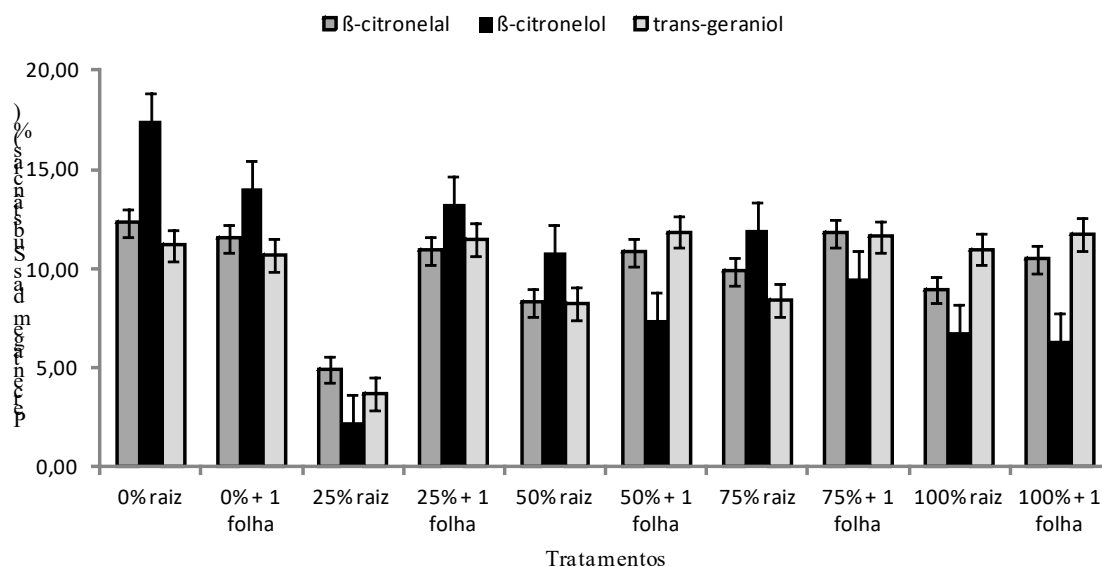


FIGURA 2. Média do rendimento percentual relativo de cada substância dentro de uma mesma amostra. (0% +1: zero corte na raiz mais um corte na folha). Barra indica Erro Padrão.

seja, nenhum desses estresses presentes.

Para o rendimento da substância *trans*-geraniol, o tratamento com 50% de corte na raiz juntamente com corte nas folhas, foi o tratamento com maior concentração dessa substância. Assim, observando de modo geral, todos os tratamentos que continham cortes das folhas tiveram uma produção mais elevada em relação aos tratamentos em que somente continham cortes nas raízes (Figura 2).

O tratamento que apresentou menor produção de *trans*-geraniol foi com somente 25% de corte das raízes, assim como também para as demais substâncias acima relatadas. Essa redução na produção quando comparada ao tratamento de maior produção foi de 68,66%.

Mesmo ocorrendo estresse nas raízes e nas folhas, o presente trabalho ainda apresentou maior rendimento de óleo essencial, quando comparado ao experimento do Castro et al. (2010), em que o rendimento foi de 0,90%, enquanto o menor rendimento verificado nesse trabalho foi 1,25% e o máximo de 1,54%.

Quando analisado em conjunto, os dados de produção de óleo e análise de fluorescência da clorofila *a*, percebe-se para essa situação experimental o maior rendimento de óleo essencial, o que está de acordo com o dados de fluorescência da clorofila *a* em que as plantas do tratamento controle apresentaram um maior crescimento, ocasionando assim um maior acúmulo de massa seca (dados não mostrados), corroborando com Lima et al. (2016), em que a espécie *Urochloa ruziziensis* (R.Germ. & C.M.Evrard) Crins, que continha o maior teor de clorofila total, foi diretamente proporcional a produção de matéria seca.

CONCLUSÕES

Em resumo, pode-se concluir que: as plantas de citronela se recuperam melhor fotossinteticamente quando submetidas a corte na parte aérea e raízes ao mesmo tempo; ocorre um maior desequilíbrio fotoquímico quando o estresse aplicado for concomitante no sistema radicular e na parte aérea, independentemente da quantidade de cortes na parte área; plantas que não sofreram estresse produziram maiores proporções de substâncias de interesse β-citronelal, β-citronelol e *trans*-geraniol e maior rendimento de óleo essencial. Comparando-se a atividade fotoquímica com a produção de óleo essencial, as plantas que sofreram menos estresse obtiveram um maior rendimento de óleo.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

- Adams RP (1995) Identification of essential oil components by gas chromatography/ mass spectroscopy. Illinois: Allured Publishing Corporation. 469p.
- Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxylase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol 24(1):1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.
- Bruneton J (1993) Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2.ed. Paris: Technique et Documentation Lavoisier. 915p.
- Castro HG, Barbosa LCA, Leal TCAB, Souza CM, Nazareno AC (2007) Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.). Rev Bras Plantas Med 9(4):55-61.

- Castro HG, Perini VBM, Santos GR, Leal TCAB (2010) Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita. *Rev Ciênc Agron* 41(2):308-331.
- Corrêa JCR, Salgado HRN (2011) Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. *Rev Bras Plantas Med* 13(4):500-506.
- Corrêa JCR, Scheffer MC (2013) Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão rural – EMATER. 2. ed. Curitiba-PR. 52p.
- Dabrowski P, Baczewska AH, Pawluskiewicz B, Paunov M, Alexantrov V, Goltsev V, Kalaji MH (2016) Prompt chlorophyll a fluorescence as a rapid tool for diagnostic changes in PSII structure inhibited by salt stress in perennial ryegrass. *J Photochem Photobiol B* 157:22-31. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.02.001>
- Essemine J, Xiao Y, Qu M, Mi H, Zhu XG (2017) Cyclic electron flow may provide some protection against PSII photoinhibition in rice (*Oryza sativa* L.) leaves under heat stress. *J Plant Physiol* 211:138–146. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.01.007>.
- Farzadfar S, Zarinkamar F, Hojati M (2017) Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiol Biochem* 112:207-217. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.002>.
- Hendry G, Grime J (1993) Methods in comparative plant. A laboratory manual. Chapman & Hall, London. 252p.
- Khayyat S, Roselin LS (2018) Recent progress in photochemical reaction on main components of some essential oils. *J Saud Chem Soc* 22(7):855-875. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.01.008>.
- Lima J, Oliveira U, Silva J, Souza G (2013) Adubação fosfatada e qualidade de luz na produção de biomassa do capim-limão. *Encicl biosf* 9(16):45-55.
- Lima JES, Nascente AS, Leandro WM, Silveira PM (2016) *Urochloa ruziziensis* responses to sources and doses of urea. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 20(5):401-407. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p401-407>.
- Mahalwal VS, ALI M (2002) Volatile constituents of *Cymbopogon nardus* (Linn.) Rendle. *Flavour Fragr J* 18(1):73-76. <https://doi.org/10.1002/ffj.1144>.
- Martinazzo EG, Ramm A, Bacarin MA (2012) The chlorophyll a fluorescence as an indicator of the temperature stress in the leaves of *Prunus persica*. *Braz J Plant Physiol* 24(4):237-246. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202013005000001>.
- Rêgo GM, Possamal E (2004) Avaliação dos Teores de Clorofila no Crescimento de Mudas do Jequitibá-Rosa (*Cariniana legalis*). Embrapa Florestas, Comunicado Técnico 128.
- Rocha HCR, Alvarenga CD, Giustolin TA, Brant RS, Souza MDC, Sarmiento HGS, Barbosa MG (2012) Crescimento, produção de fitomassa e teor de óleo essencial de folhas de capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) em cultivo consorciado com algodoeiro colorido no semiárido mineiro. *Rev Bras Plantas Med* 14:138-18. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000500010>.
- Russo M, Honermeier B (2017) Effect of shading on leaf yield, plant parameters, and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *J Appl Res Med Aromat Plants* 7:27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.003>.
- Sá FVS, Gheyi HR, Lima GS, Paiva EP, Moreira RCL, Silva LA (2018) Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of west indian cherry. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 22(3):158-163. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p158-163>.
- Schimpl FC, Ribeiro RV, Pereira L, Rodrigues HS, Mazzafera P (2018) Photochemical responses to abrupt and gradual chilling treatments in eucalyptus species. *Theor Exp Plant Physiol* 30:9-17. <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0097-2>.
- Seixas PTL (2012) Efeito da adubação mineral na produção de biomassa, teor e composição do óleo essencial e fungitoxicidade *in vitro* do capim-citronela. 89p. Dissertation (Master's - Concentration area in Plant Production), Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brazil.
- Silva CMM, Gomes MMAE, Freitas SP (2009) Interferência de herbicidas, associados a um análogo de Brassinosteroide, no aparato fotossintético de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Planta Daninha* 27(4):789-797. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000400017>.
- Strasser BJ, Strasser RJ (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental question: The JIP test. In: MATHIS, P. (Ed.), *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 977–980.
- Strasser RJ, Tsimilli-Michael M, Srivastava A (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, C., Govindjee, (Eds.), *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*. Dordrecht: Springer – Verlag. 321-362.