

INCREMENTOS NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL DE CITRONELA POR ESTRESSE SEVERO NO SISTEMA RADICULAR

INCREASES IN CITRONELLA TOTAL BIOMASS PRODUCTION DUE TO SEVERE STRESS IN THE ROOT SYSTEM

Taciana da Mata Daflon 

Discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Cristina Moll Hüther 

Pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Caíssa Machado Perucci Pereira dos Santos 

Discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Luiza Ferreira de Carvalho 

Aluna de iniciação científica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Nathan Pereira da Costa Correa 

Aluno de iniciação científica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Daniela Marques Correia 

Aluna de iniciação científica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Carlos Rodrigues Pereira 

Docente no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Thelma de Barros Machado 

Docente no Departamento de Tecnologia Farmacêutica da Universidade Federal Fluminense (UFF) — Niterói (RJ), Brasil.

Endereço para correspondência:

Cristina Moll Hüther – Rua Passo da Pátria, 156, bloco D, sala 236 – São Domingos – Campus Praia Vermelha – CEP 24210-240 – Niterói (RJ), Brasil – E-mail: cristinahuther@yahoo.com.br

Recebido em: 04/02/2019

Aceito em: 24/06/2019

RESUMO

Para se obter a melhor qualidade terapêutica e produtividade das plantas medicinais, o manejo adequado da cultura é fundamental, pois diversos fatores podem interferir. Assim, analisou-se o crescimento das plantas de citronela submetidas a diferentes níveis de cortes na parte aérea e nas raízes. Cinco diferentes proporções de desbaste na raiz (0, 25, 50, 75 e 100%), após 145 dias do plantio das mudas e 4 cortes na parte aérea (folhas): sem corte; um corte aos 145 dias após o plantio (DAP), juntamente com o corte da raiz; um corte aos 228 DAP; e cortes aos 145 e 228 DAP (dois cortes). Foram realizadas quatro coletas para dados de acúmulo de matéria seca e partição de fotoassimilados. O tratamento com 100% de corte na raiz, mas sem corte nas folhas, aumentou o acúmulo de massa seca em relação aos demais tratamentos, para o último período de análise, demonstrando uma recuperação.

Palavras-chave: *Cymbopogon nardus* L.; poda de raiz; assimilação de carbono e partição; crescimento; planta medicinal.

ABSTRACT

In order to obtain the best therapeutic quality and productivity of medicinal plants, proper management of the crop is fundamental, since several factors can interfere. Thus, the growth of citronella plants submitted to different levels of cuts in the aerial part and in the roots were analyzed. Five different root roughing ratios (0, 25, 50, 75, 100%) after 145 days of planting of the seedlings and four cuts in the aerial part (leaves): uncut; a cut at 145 DAP (days after planting), along with the cut of the root; a cut at 228 DAP; and cuts at 145 and 228 DAP (two cuts). Four collections for dry matter accumulation and photoassimilate partitioning and treatment with 100% root cut, but without leaf cut, increased the accumulation of dry mass in relation to the other treatments, for the last period of analysis, demonstrating a recovery.

Keywords: *Cymbopogon nardus* L.; root pruning; Carbon assimilation and partitioning; growth; medicinal plant.

INTRODUÇÃO

Para a produção de óleos essenciais, as espécies de maior importância são: *Cymbopogon spp.*, *Ocimum spp.* e *Eucaliptus spp.* (ANDRADE *et al.*, 2013). Há grande interesse comercial internacional e nacional na produção de óleos essenciais de citronela, que também são usados na fabricação de fragrância para perfumes, produtos farmacêuticos e manipulação de repelentes contra insetos, sendo utilizados na forma de repelente natural (ANDRADE *et al.*, 2012; ROCHA *et al.*, 2012).

O óleo extraído da citronela tem ação de repelência e inseticida, oferecendo até nove horas de proteção, devido à volatilidade de substâncias encontradas no citronelal, limoneno, eugenol e geraminol, conhecidas como monoterpenos (AGNOLIN *et al.*, 2010; VELOSO *et al.*, 2012; VENTER *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, o Brasil vem se destacando na produção de produtos de higiene, como cosméticos e perfumes, apresentando crescimento de 20% na exportação (CORRÊA; SCHEFFER, 2013). O uso de produtos naturais é favorável por conta da demanda crescente do mercado, porém existem problemas contínuos com a falta de matéria-prima, ocorrendo de forma extrativista na exploração de plantas, e há deficiência em tecnologias adequadas para melhorar a produção (LIMA *et al.*, 2013).

Outro problema que pode interferir na obtenção de matérias-primas de qualidade oriundas de plantas medicinais é o acúmulo de biomassa que será utilizada para a extração desses princípios ativos, pois a quantidade pode não refletir qualidade. Vários fatores ambientais podem afetar a produção dessa biomassa, pois as plantas são constantemente influenciadas no metabolismo secundário do vegetal, interferindo no acúmulo de biomassa e na produção de princípios ativos das espécies medicinais (WU *et al.*, 2016; TAKSHAK; AGRAWAL, 2019; THAKUR *et al.*, 2019). Portanto, há necessidade de melhorar o rendimento das culturas, bem como o entendimento de práticas específicas que

possam auxiliar no manejo (BENSON; MORGENROTH; KOESER, 2019; MASHAMAITE; DUBE; PHIRI, 2019).

Estudos realizados em diversas culturas mostram aumento de 10 a 300% na concentração de metabólitos secundários em plantas, dependendo dos fatores, bióticos ou abióticos, que podem interferir no metabolismo do vegetal (TAKSHAK; AGRAWAL, 2019; THAKUR *et al.*, 2019), afetando a produção de metabólitos secundários, promovendo ou diminuindo a biossíntese da produção de substâncias de interesse econômico (FUCHS *et al.*, 2017; FANG; FERNIE; LUO, 2019).

A poda na raiz é uma forma de modular o crescimento das culturas, a alocação de matéria seca, o uso da água e o rendimento, sendo os efeitos diferentes nas espécies (MA *et al.*, 2013; BENSON; MORGENROTH; KOESER, 2019; HU *et al.*, 2019; KANG *et al.*, 2019).

Com isso, a análise de crescimento é utilizada para avaliar a adaptação ecológica dos vegetais em ambientes novos, competição interespecífica, efeitos de sistemas de manejo, alteração do regime de irradiância, tratamento com elicitores e fungicidas, além de permitir a avaliação da capacidade produtiva de diversos genótipos (FALQUETO *et al.*, 2009), ou seja, possibilita compreender a adaptação da planta sob diversas situações de manejo e também avaliar o vegetal com capacidade competitiva entre as plantas (AUMONDE *et al.*, 2013). Assim, é importante verificar a utilização de diferentes níveis de cortes na parte aérea e nas raízes de plantas de citronela, pois ainda não há estudos que demonstrem esse método, podendo ser assim verificado o nível de resposta na produção de biomassa, e consequentemente a sua alocação, se utilizada ou não para compensar os danos resultantes da retirada da raiz e se acarreta diminuição da produção de matéria-prima utilizada para extração do óleo essencial.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar o crescimento de plantas de citronela submetidas a diferentes níveis de cortes na parte aérea e nas raízes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período compreendido entre 18 de março de 2015 e 19 de maio de 2016, na área experimental Ipecacuanha, no Campus Gragoatá da Universidade Federal Fluminense, cujas

coordenadas são latitude de 22°54'00" S, longitude de 43°08'00" W e altitude de 8 metros. Climaticamente, a região possui clima Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima tropical com inverno seco e

verão chuvoso, com temperatura média anual de 23°C e precipitação média anual de 1.200 mm. As mudas de capim citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle), pertencente à família Poaceae, foram plantadas em vasos de polietileno de oito litros, com solo arenoso, utilizando um espaçamento de 40 centímetros entre linhas e entre plantas. O solo nos vasos foi mantido próximo à capacidade de campo. Os tratamentos foram aplicados cinco meses após o plantio das mudas, em 5 de agosto de 2015. Foi utilizado um desenho experimental em parcelas subdivididas, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 tratamentos principais, sendo as proporções de desbaste na raiz 0, 25, 50, 75 e 100% após 145 dias do plantio das mudas; e os tratamentos secundários os cortes na parte aérea (folhas), ou seja, 4 tratamentos: sem corte; um corte aos 145 dias após o plantio (DAP); um corte aos 228 DAP; e cortes aos 145 e 228 DAP (dois cortes). Cada tratamento principal continha 68 plantas, sendo a unidade amostral uma planta por vaso. Para a realização da medida de massa de matéria seca das folhas, do caule e das raízes, foram amostradas cinco plantas por tratamento.

O corte das raízes foi realizado em um único dia, dentro d'água, utilizando quatro caixas-d'água de mil litros cheias de água. Após o corte, as plantas foram manti-

das imersas nessa mesma água por 24 horas, para evitar cavitação radicular. Após essa operação, foram replantadas nos vasos de oito litros, contendo o mesmo tipo de solo de antes dos cortes radiculares.

Ao longo do experimento, foi realizada a adubação das plantas (6 e 12 meses após o plantio das mudas), utilizando 300 gramas de composto Bokashi® por vaso, mais a aplicação de 13 gramas de NPK (nitrogênio 4%; fósforo 14% e potássio 8%) por vaso.

Para a obtenção dos dados de acúmulo de matéria seca e partição de fotoassimilados, foram efetuadas coletas sucessivas, iniciando no dia do plantio das mudas, totalizando quatro coletas; e em cada coleta foi determinada a massa seca dos órgãos da planta (folha, caule e raízes), bem como a total. Para isso, as amostras da massa fresca foram mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, até atingir peso constante, em seguida foram pesadas em balança analítica e depois foi subtraída a diferença entre a massa fresca e a seca.

A análise estatística ANOVA foi realizada com parcelas subdivididas (tratamento A: cinco diferentes proporções de cortes nas raízes; e tratamento B: quatro diferentes tipos de cortes nas folhas) com cinco repetições, utilizando o programa Assisat, versão 7.7.

RESULTADO E DISCUSSÃO

No tratamento de 100% de desbaste na raiz, ocorreu redução na massa de matéria seca das folhas entre a segunda e a terceira análise, mesmo não tendo sido realizado nenhum corte nas folhas (Figura 1). Assim, observando os dados para esse mesmo aspecto, comparando o tratamento sem corte na raiz e o tratamento com 100% do corte na raiz, esse último apresentou uma redução na massa seca das folhas de 32,98% em relação ao controle. Isso demonstra que, provavelmente, os fotoassimilados foram realocados para o crescimento das raízes, pois ao retirar toda a sua raiz, a planta provavelmente direcionou uma grande parte de sua energia para essa aérea afetada, a fim de retomar o crescimento nessas estruturas, diminuindo, assim, o crescimento da parte aérea (MASHAMAITE; DUBE; PHIRI, 2019; KANG *et al.*, 2019). Vários autores indicam que algumas situações às quais o vegetal é exposto podem proporcionar mudança nos padrões de fixação, alocação e particionamento de biomassa (BREUER *et al.*, 2015; FERNANDES

et al., 2016; LIU *et al.*, 2018; PESCHIUTTA *et al.*, 2018; PILON *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2019; ZHANG, L. *et al.*, 2018; ZHANG, S. *et al.*, 2018).

Porém, esse mesmo tratamento, com poda de 100% da raiz, apresentou aumento na massa total em relação ao controle, principalmente na última análise, em que a massa das raízes teve grande contribuição na massa total dessas plantas, com um acréscimo de 270 g; e logo após o tratamento com 50% do corte na raiz. Hu *et al.* (2019) verificaram que a poda das raízes de trigo melhorou o rendimento de grãos, o índice de colheita e a eficiência no uso da água, demonstrando, assim, que não só influencia na biomassa, mas também na produtividade.

Vale ressaltar que na primeira e na segunda análise, todos os tratamentos permaneciam com a mesma massa seca, pois ainda não tinham sido realizados os cortes nas raízes. Somente a partir da segunda análise,

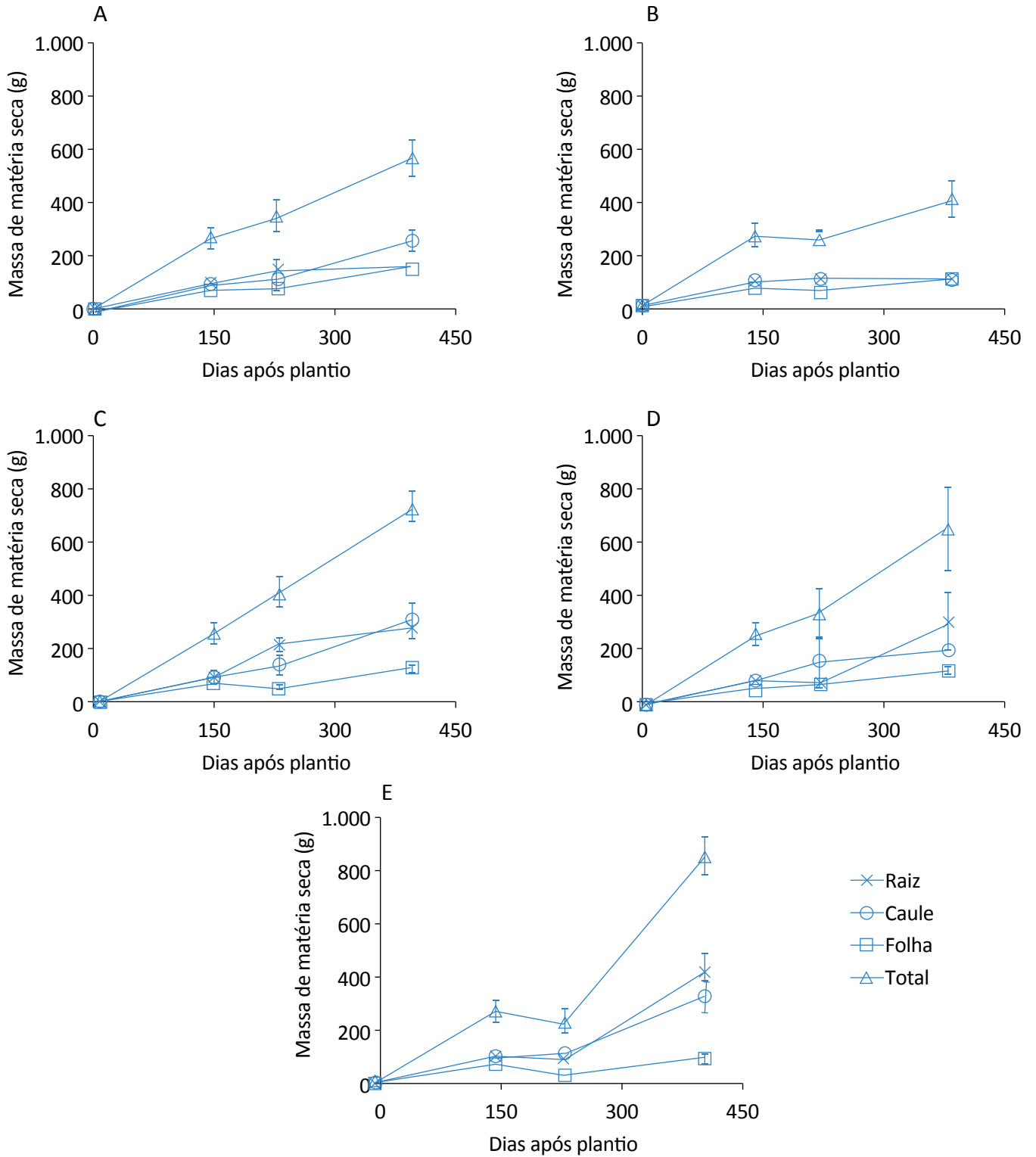


Figura 1 – Evolução do acúmulo de matéria seca de citronela sem cortes nas folhas e com desbastes na raiz: (A) sem cortes na raiz e nas folhas; (B) 25% de corte na raiz e sem corte nas folhas; (C) 50% de corte na raiz e sem corte nas folhas; (D) 75% de corte na raiz e sem corte nas folhas; (E) 100% de corte na raiz e sem corte nas folhas. As barras indicam os desvios padrão.

quando foram aplicados os desbastes nas raízes e nas folhas, as plantas começaram a apresentar diferenças entre os tratamentos.

O tratamento de 25% foi o que apresentou menor incremento em massa seca, com redução de 160 g em relação ao controle, mantendo-se estável ao longo das coletas. No entanto, comparando-se todos os tratamentos, somente aquele no qual foi realizado o corte de 50% da raiz apresentou uma linha de tendência de crescimento ao longo dos períodos analisados, sendo assim, o que provavelmente apresentou uma menor sensibilidade ao corte das raízes.

Para as plantas que também continham cortes nas folhas — realizados aos 145 DAP, ou seja, corte das folhas realizado juntamente com o corte das raízes (Figura 2) —, nenhum tratamento apresentou um maior acúmulo de massa total quando comparado ao controle e ao tratamento com 75% de corte na raiz, que mais foi afetado pelo estresse, com redução de 289 g, equivalendo redução de 50% em relação ao controle para a última análise. Entretanto, na última análise, percebe-se que as raízes foram as que mais contribuíram para a massa seca total dos tratamentos de 75 e 100%.

Relacionando o corte das folhas com o corte das raízes, os tratamentos de 25 e 50% foram os que se mantiveram mais próximos ao controle, na última análise. Já para as plantas que tiveram diferentes proporções de cortes nas raízes, mas somente foi aplicado o corte nas folhas na terceira análise, aos 228 DAP em todos os tratamentos, as raízes tiveram maior crescimento do que as folhas, portanto, nos tratamentos de 25 e 100% as folhas apresentaram maior massa seca em relação ao último período de análise (Figura 3).

Os tratamentos de 75 e de 50% apresentaram aumento significativo na evolução no acúmulo de massa seca total na última análise, em relação ao controle, destacando o tratamento de 50%, que apresentou acréscimo de 32,73%. Em relação às plantas que apresentavam 2 cortes nas folhas (145 e 228 DAP), bem como as diferentes proporções de desbastes nas raízes (Figura 4), o tratamento de 25% do corte da raiz representou decréscimo de 32,01% em relação ao controle, pois se notou que para as plantas desse tratamento não houve acréscimo de massa seca nas raízes entre a terceira e quarta análise, o que contribuiu para a redução na massa seca total, anteriormente abordada. Já os tratamentos de

50 e 75% apresentaram maior acúmulo de massa seca, porém não foram maiores do que o controle.

Comparando-se a relação dos dois cortes nas folhas com os cortes nas raízes, observou-se que o tratamento com 100% de corte na raiz demonstrou menor recuperação da massa seca das folhas, quando comparado aos demais tratamentos.

Analisando a massa seca das folhas (a parte de interesse econômico dessa planta), ter aplicado dois cortes nas folhas ou não, comparando com os tratamentos em que não houve corte na raiz, para a última análise, acarretou redução de 36,36% para as plantas em que foram realizados dois cortes nas folhas. No entanto, sob esse mesmo aspecto, no tratamento com corte de 100% da raiz ocorreu menor redução da massa seca das folhas, somente 19,31%, também para o tratamento com dois cortes nas folhas. Então, realizar estresse na raiz, bem como na parte aérea, proporciona para essa espécie uma recuperação mais rápida do que somente submeter ao estresse na parte aérea.

Ainda em relação à massa seca das folhas, mas comparando-se agora a aplicação de apenas um corte nas folhas (145 DAP) (Figura 2) com nenhum corte nas folhas (Figura 1), também para o último período analisado, e sem interação do corte na raiz, as plantas com corte na parte aérea tiveram uma redução de 23,96%; e quando houve corte de 100% nas raízes, ocorreu uma maior perda de massa seca das folhas para as plantas com um corte nas folhas (36,60%).

Na Figura 5 estão os dados da evolução do acúmulo de matéria seca total para os tratamentos de cortes de folhas em relação aos cortes das raízes. As plantas do tratamento com 100% de corte na raiz, mas sem cortes nas folhas, foram as que apresentaram maior crescimento em relação à massa seca total, acumulando um total de 838,67 g em relação à última análise. No entanto percebe-se nessa situação que, para a última análise, as plantas de 100% de corte nas raízes e sem cortes nas folhas apresentaram um maior crescimento, em relação ao tratamento sem cortes em nenhuma das partes. Nesse caso, pode-se correlacionar com a produção de fotoassimilados, sendo suficiente mesmo em situação em que a raiz toda foi cortada. Contudo, a poda de raízes induz essencialmente um estresse hídrico moderado, podendo levar a perturbações nos processos fisiológicos (FINI *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2016;

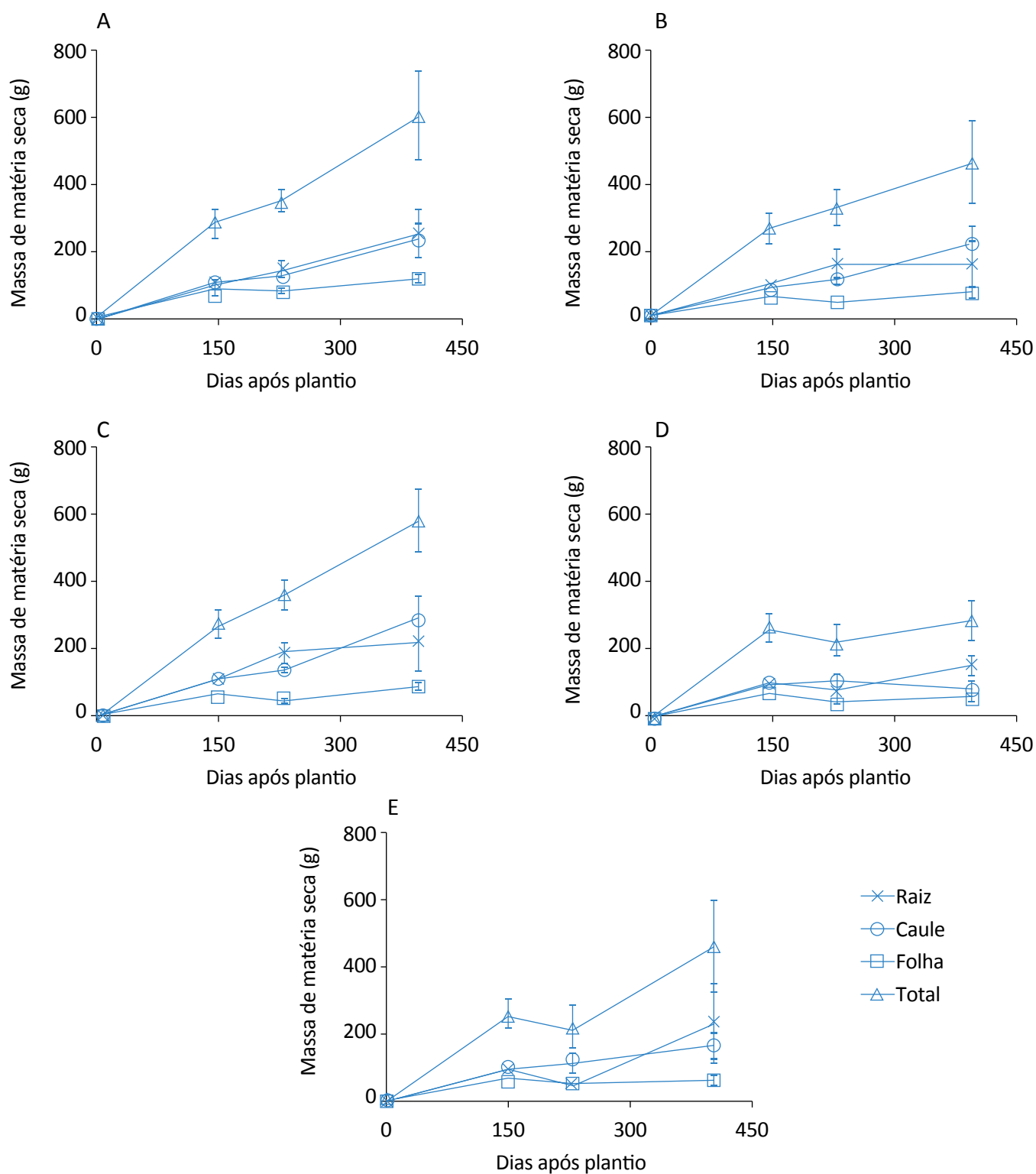


Figura 2 – Evolução do acúmulo de matéria seca de citronela com um corte nas folhas aos 145 dias após o plantio e com desbastes na raiz: (A) sem corte na raiz; (B) 25% de corte na raiz; (C) 50% de corte na raiz; (D) 75% de corte na raiz; (E) 100% de corte na raiz. As barras indicam os desvios padrão.

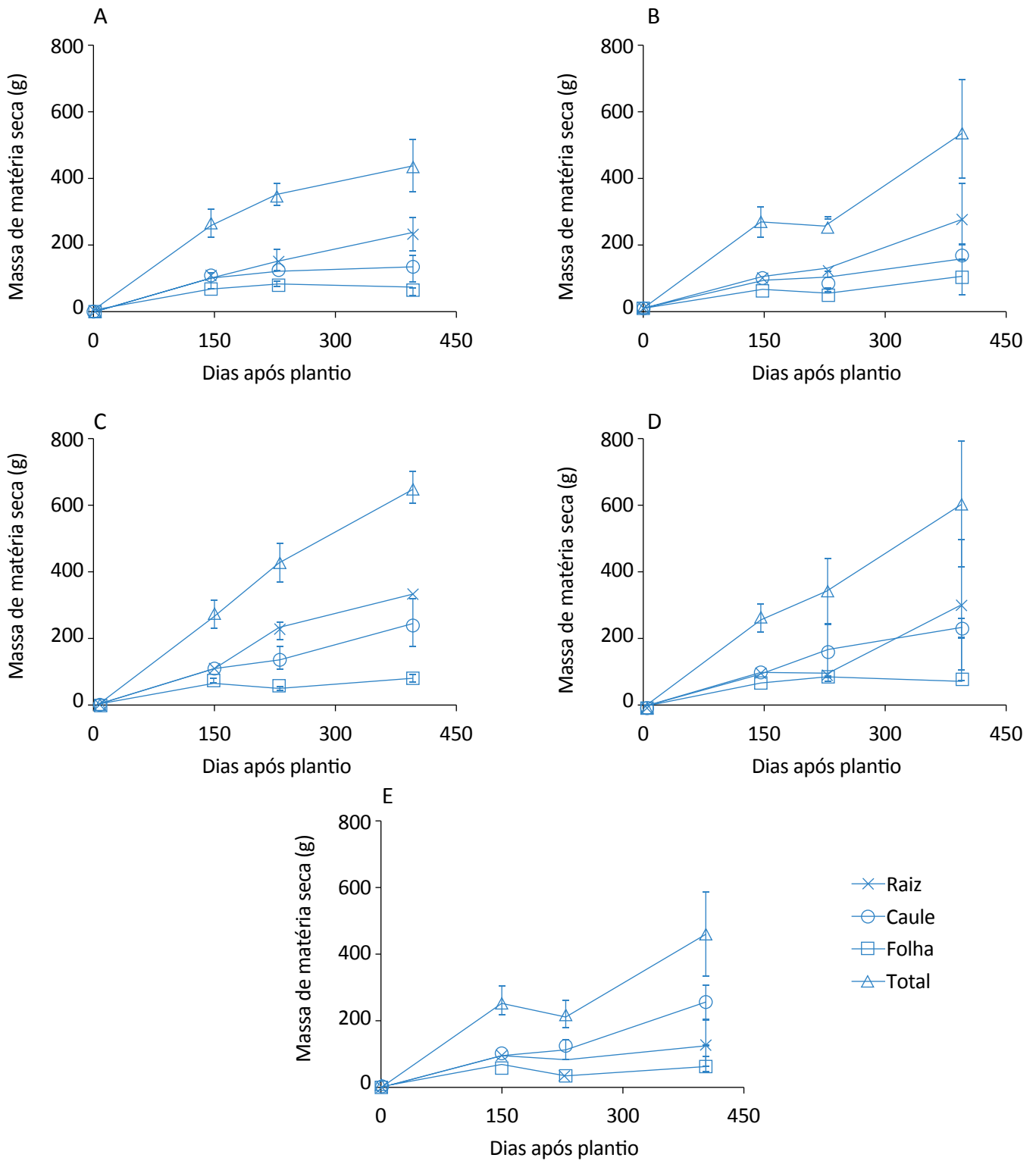


Figura 3 – Evolução do acúmulo de matéria seca de citronela com um corte nas folhas aos 228 dias após o plantio e com desbastes na raiz: (A) sem corte na raiz; (B) 25% de corte na raiz; (C) 50% de corte na raiz; (D) 75% de corte na raiz; (E) 100% de corte na raiz. As barras indicam os desvios padrão.

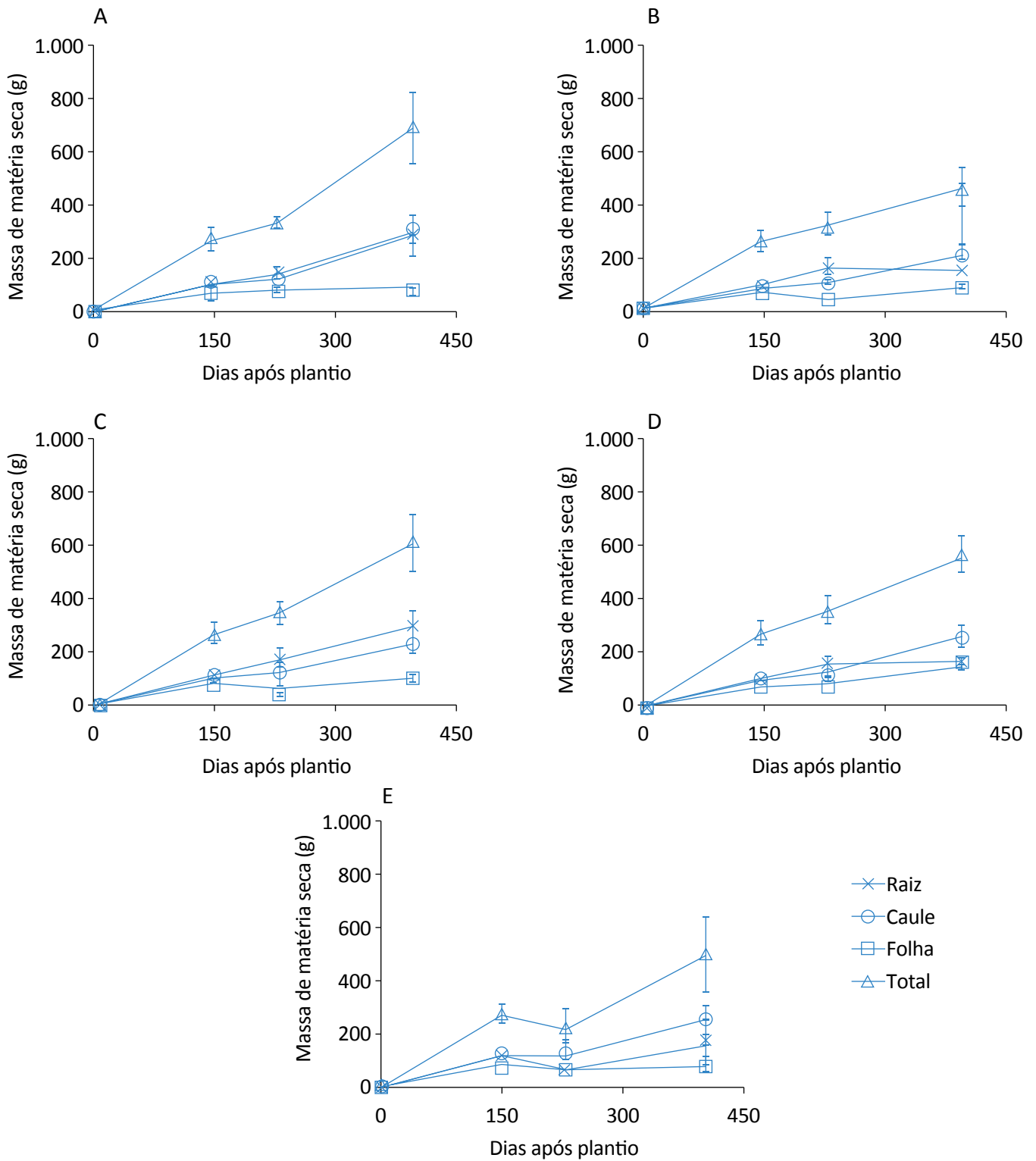


Figura 4 – Evolução do acúmulo de matéria seca de citronela com dois cortes nas folhas (145 e 228 dias após o plantio) e com desbastes na raiz: (A) sem corte na raiz; (B) 25% de corte na raiz; (C) 50% de corte na raiz; (D) 75% de corte na raiz; (E) 100% de corte na raiz. As barras indicam os desvios padrão.

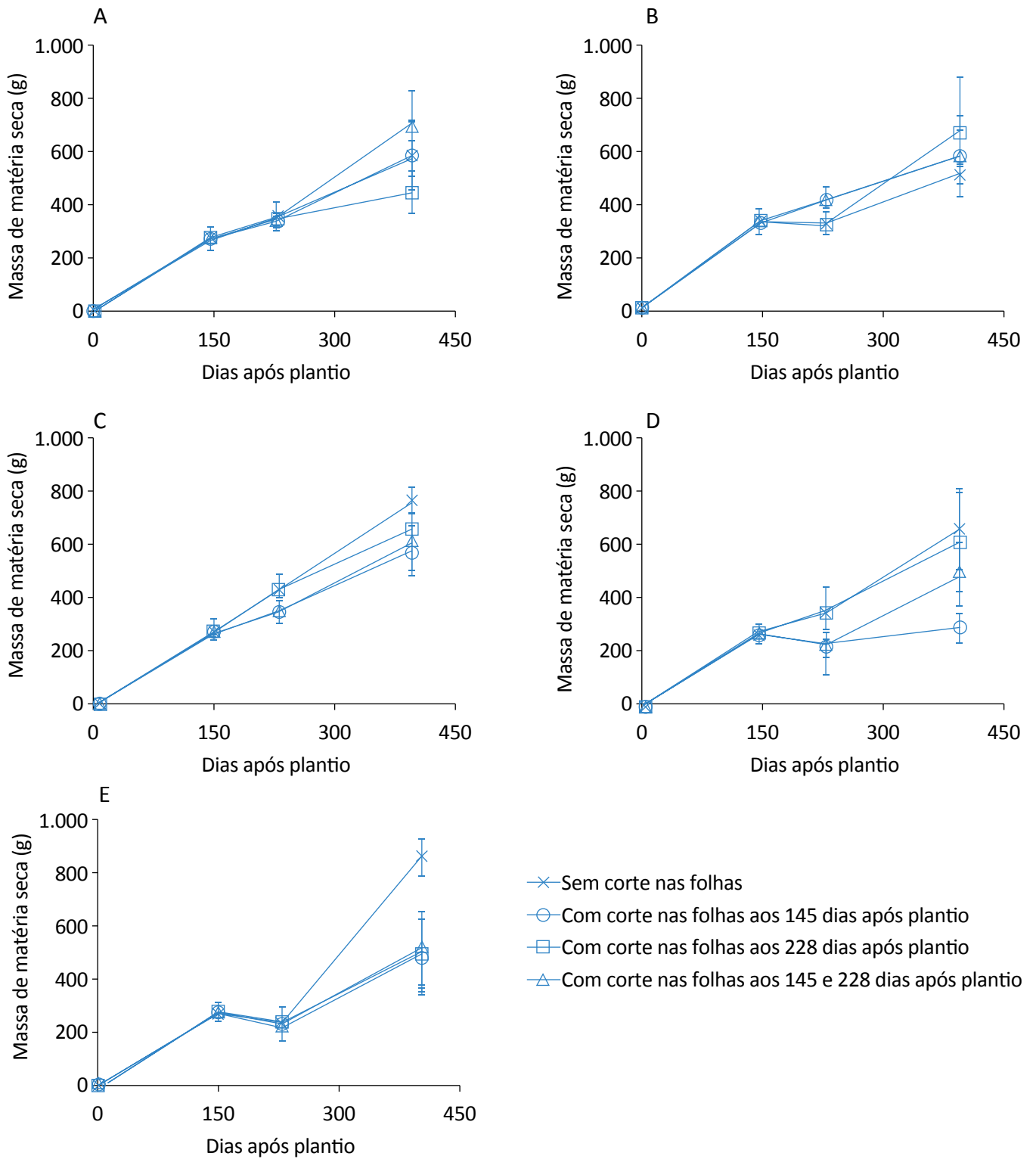


Figura 5 – Evolução do acúmulo de matéria seca total da planta de citronela nos tratamentos de cortes de folhas: (A) sem corte na raiz; (B) 25% de corte na raiz; (C) 50% de corte na raiz; (D) 75% de corte na raiz; (E) 100% de corte na raiz. As barras indicam os desvios padrão.

BENSON; MORGENROTH; KOESER, 2019), pois as raízes funcionam como sensores de insuficiência de água no solo. Essa deficiência é identificada por células-guardas dos estômatos antes de qualquer problema hídrico ser detectado nas folhas, por meio de sinais (ácido abscísico) emitidos nestas (SALAH; TARDIEU, 1997; MATTOS; SCIVITTARO; PETRINI, 2005).

Pode-se supor também que esse ganho de massa seca não foi somente porque a fotossíntese se manteve, e sim em função da presença das folhas que foram senescentes e permaneceram até o fim das análises. Essas folhas senescentes, juntamente com as demais, foram utilizadas nas análises, o que pode ter interferido na massa final, tendo em vista que nos demais tratamentos as folhas senescentes estavam em menor proporção, pois ocorreram cortes na parte aérea.

O tratamento com menor acúmulo de massa seca foi o com corte de 75% da raiz com um corte nas folhas aos 145 DAP, equivalendo a 291 g, na última análise. No entanto, levando em conta o tratamento sem interferência do corte nas raízes, ou seja, o controle, o maior acúmulo de massa seca total foi para as plantas que tiveram dois cortes após o plantio (145 e 228 DAP).

As plantas com 50% de corte das raízes, para os diferentes cortes nas folhas, apresentaram crescimento no acúmulo de massa seca quase linear nos períodos analisados, mesmo tendo cortes nas folhas em diferentes períodos, sendo dessa maneira o que apresentou resposta mais próxima ao controle. Já o tratamento de 25% no corte da raiz, com somente cortes nas folhas aos 228 DAP e também o tratamento com corte nas folhas nos dois momentos (145 e 228 DAP) apresentaram uma pequena redução na massa, após a implementação dos cortes nas raízes.

Na Figura 6 consta a evolução do acúmulo de matéria seca da raiz nos diferentes tratamentos de cortes nas raízes para os quatros tratamentos de corte nas folhas. As plantas com 100% de corte, somente nas raízes, foram as que tiveram valor mais representativo de massa seca para as raízes no último período de análise, perfazendo um acréscimo de 74,11% em relação ao tratamento de menor valor.

O tratamento de 100% de cortes nas raízes foi o que mais decresceu a massa seca das raízes após o corte das raízes e um corte das folhas aos 145 DAP, no en-

tanto superou os demais tratamentos que continham cortes, na última análise.

As plantas que receberam 50% de corte nas raízes tiveram maior rendimento de massa seca para as raízes que os demais, nos tratamentos que foram realizados cortes nas folhas aos 228 DAP, no entanto permaneceu aos níveis do controle no tratamento com 2 cortes nas folhas (145 e 228 DAP).

Assim, de maneira geral, nota-se que mesmo com as raízes sendo 100% cortadas, mas sem corte nas folhas, essas plantas apresentaram maior acúmulo de massa seca, demonstrando que as raízes se recuperaram, pois a parte aérea permaneceu intacta, ou seja, ocorreu a fotossíntese, mesmo que em menor intensidade, em função da falta de recursos provenientes de suas raízes, mas foi o suficiente, juntamente com as reservas no caule, para essas plantas emitirem novas raízes e conseguirem novamente manter a homeostase.

Na Figura 7, encontra-se a evolução do acúmulo de matéria seca do caule nos diferentes tratamentos de cortes nas raízes para os quatros tratamentos de corte nas folhas.

Novamente, o tratamento que continha somente 100% do corte na raiz mostrou maior acúmulo de massa seca do caule, juntamente com o tratamento de 50% de corte na raiz. No entanto, no tratamento de 100%, após os 228 DAP, o seu crescimento foi constante.

O tratamento que teve corte 25% somente na raiz foi o que teve menor massa seca, apresentando redução de 41,08% em relação ao tratamento com 100% de corte na raiz, que obteve maior massa seca para o caule.

Para as plantas com cortes nas folhas aos 145 DAP e com cortes nas folhas aos 228 DAP, os tratamentos com maior acúmulo de massa seca para os caules foram com 50 e 100% de corte na raiz, respectivamente.

Na Figura 8 constam os dados da evolução do acúmulo de matéria seca das folhas nos diferentes tratamentos de cortes nas raízes para os quatros tratamentos de corte nas folhas. Percebe-se que o tratamento que continha somente corte nas raízes foi o que gerou maior massa seca para as folhas.

O tratamento de corte nas raízes (75%) e nas folhas aos 145 após o plantio foi o que teve menor rendimento de acúmulo de massa seca para as folhas, com somente 55,27 g, o mesmo verificado para o tratamento com 2 cortes nas folhas, aos 145 e 228 DAP, com somente 74,77 g; e no tratamento com corte nas raízes (25%) e que tiveram corte nas folhas aos 228 DAP houve maior

acúmulo de massa seca para a parte das folhas, na última análise.

No acúmulo de massa seca total da citronela (Figura 9), nos diferentes tratamentos de cortes nas raízes em relação aos quatro tratamentos de corte nas folhas, o tratamento com corte somente nas raízes de 100% e sem corte nas folhas apresentou um total de 838,67 g.

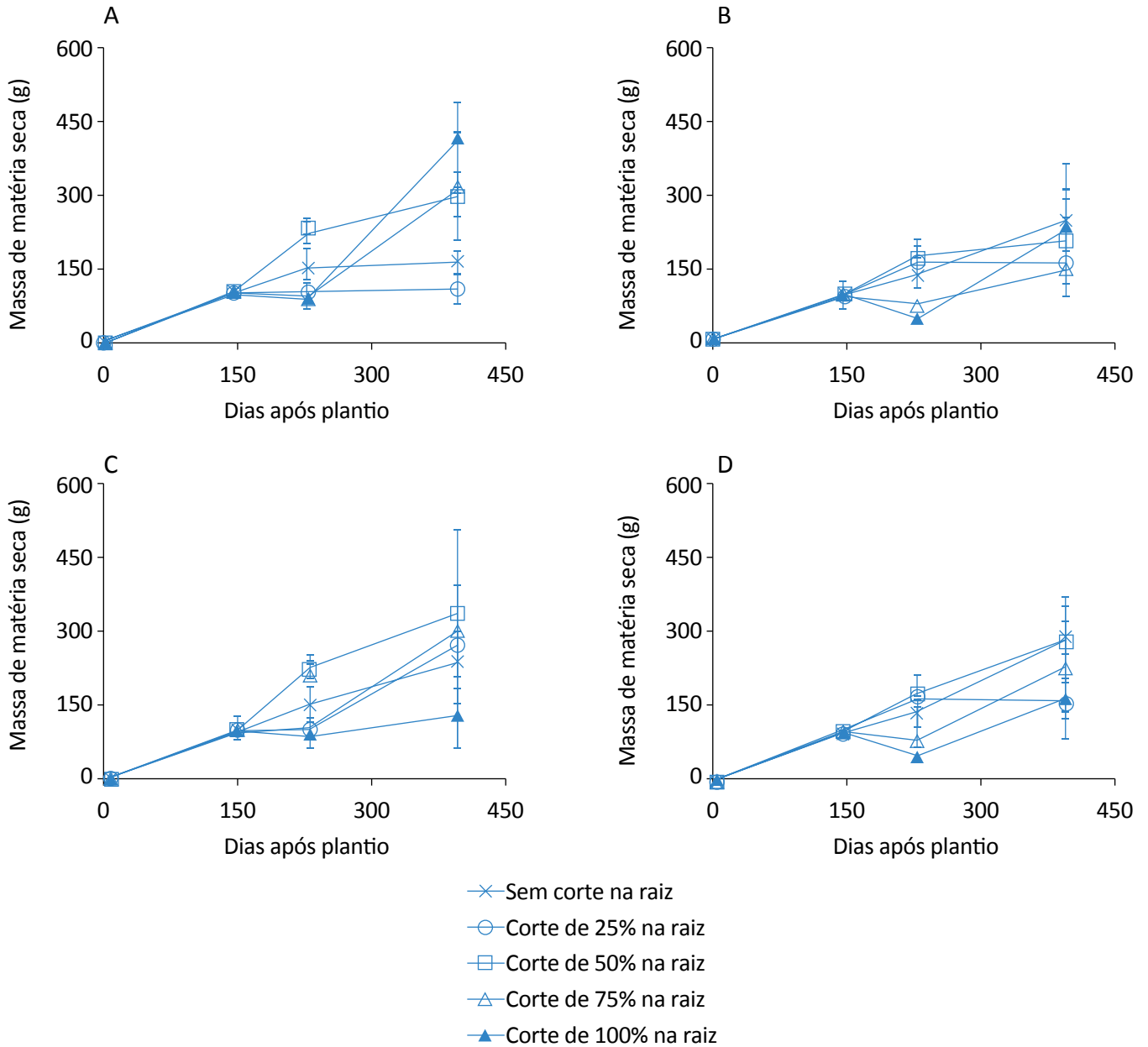


Figura 6 – Evolução do acúmulo de matéria seca da raiz da planta de citronela nos tratamentos de cortes de raiz: (A) sem corte nas folhas; (B) corte nas folhas aos 145 dias após plantio; (C) corte nas folhas aos 228 dias após plantio; (D) corte nas folhas aos 145 e 228 dias após plantio. As barras indicam os desvios padrão.

Para as plantas com cortes nas folhas aos 145 DAP, o tratamento com 50% de corte na raiz e sem cortes nas raízes apresentou resposta similar ao longo das análises, chegando ao último período analisado com aproximadamente a mesma massa seca total. Já as plantas com corte de 50% nas raízes e com corte nas folhas aos 228 DAP obtiveram, ao longo das análises, um acúmulo

crescente; e para as plantas com 2 cortes nas folhas (145 e 228 DAP), para o último período analisado, foi o tratamento que não continha corte nas raízes que apresentou maior acúmulo de massa seca total.

As plantas que receberam cortes somente nas raízes cresceram mais do que as que receberam corte

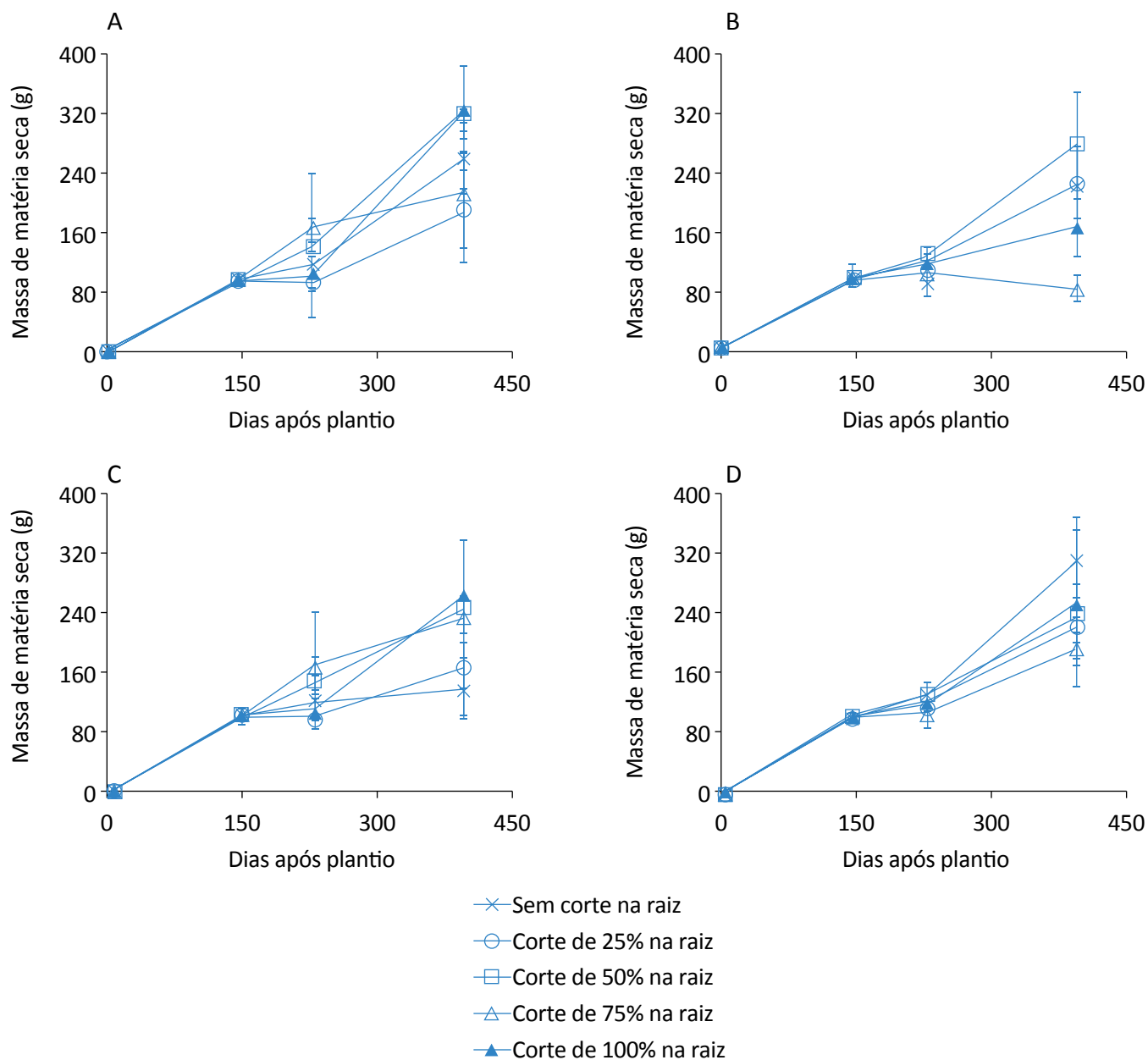


Figura 7 – Evolução do acúmulo de matéria seca do caule da planta de citronela nos tratamentos de cortes de raiz: (A) sem corte nas folhas; (B) corte nas folhas aos 145 dias após plantio; (C) corte nas folhas aos 228 dias após plantio; (D) corte nas folhas aos 145 e 228 dias após plantio. As barras indicam os desvios padrão.

nas raízes e nas folhas, mantendo acúmulo de massa seca, em especial as que tiveram 100% de corte nas raízes. Às vezes um estresse severo pode proporcionar o inverso do que esperamos, pois a planta que foi mais podada na raiz foi a que mais cresceu e adquiriu ganho de massa. Esse fato talvez tenha ocorrido por ser uma espécie que apresenta meta-

bolismo fotossintético C_4 , podendo ser mais tolerante a situações estressantes (SAGE; SULTMANIS, 2016; SÁNCHEZ; AZCÓN-BIETO; NOGUÉS, 2016; FARIA *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2019), o que pode sugerir que nessas condições experimentais essa espécie foi moderadamente tolerante ao estresse de podas radiculares e aéreas.

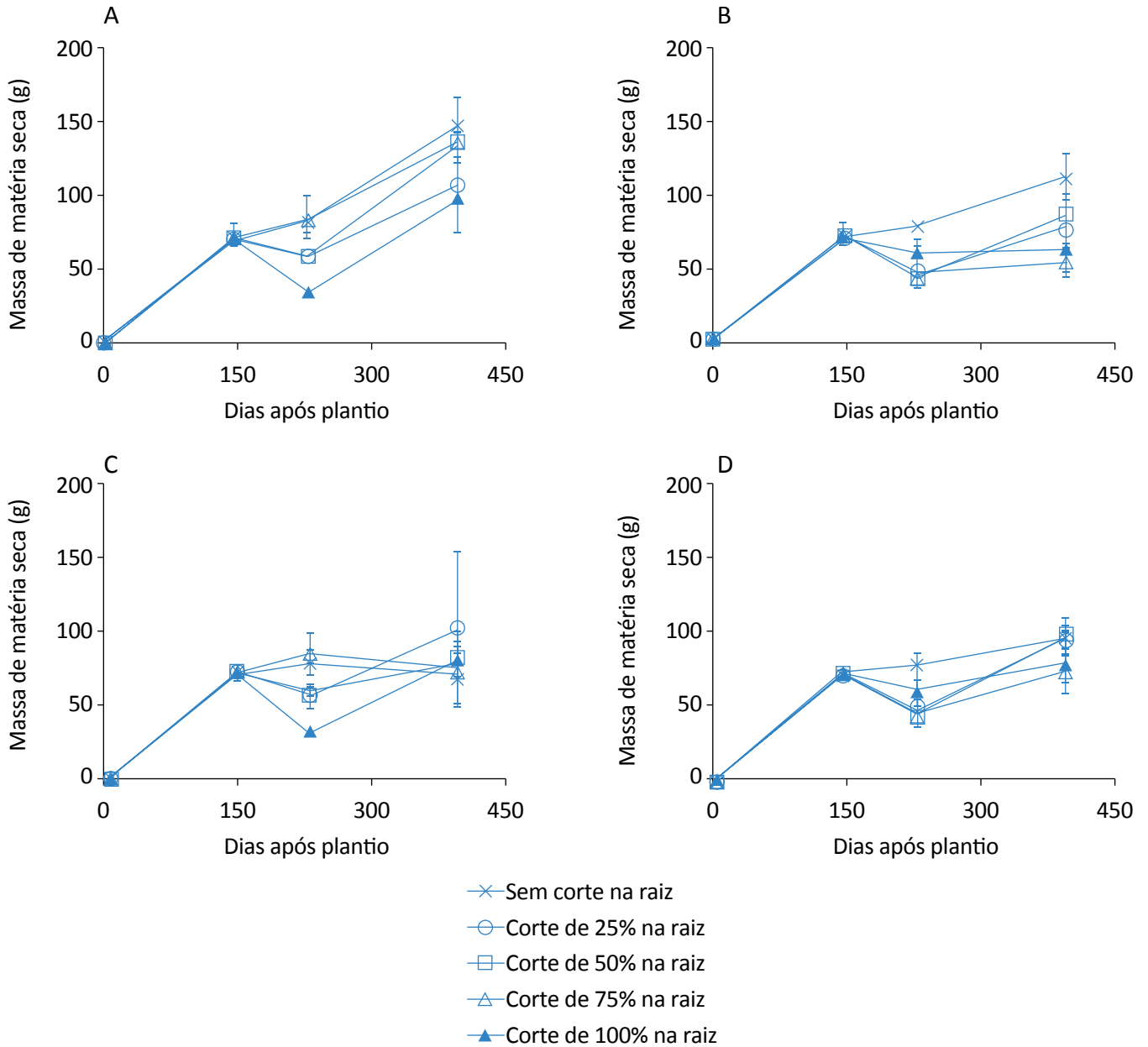


Figura 8 – Evolução do acúmulo de matéria seca das folhas da planta de citronela nos tratamentos de cortes de raiz: (A) sem corte nas folhas; (B) corte nas folhas aos 145 dias após plantio; (C) corte nas folhas aos 228 dias após plantio; (D) corte nas folhas aos 145 e 228 dias após plantio. As barras indicam os desvios padrão.

CONCLUSÕES

Para as plantas de citronela, a parte de interesse econômico é a folha. Assim, a aplicação de dois cortes nas folhas ou não realizar corte nas folhas, dentro do tratamento com 100% do corte na raiz, para a acumulação de massa seca da folha é mais

eficaz quando comparado ao tratamento sem corte nas raízes.

Dessa forma, para esse acúmulo de massa seca da folha, realizar estresse na raiz pode proporcionar, para

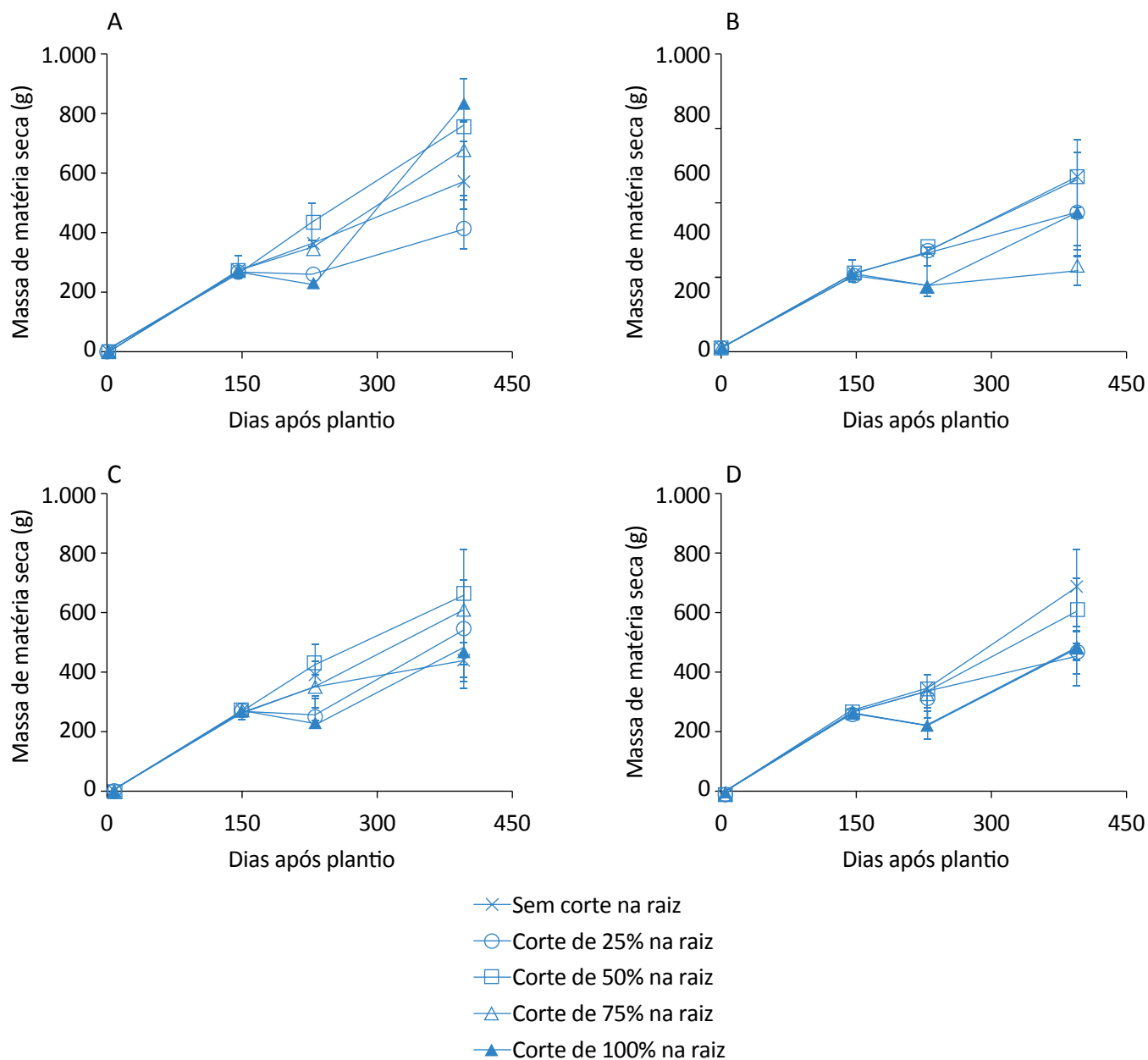


Figura 9 – Evolução do acúmulo de matéria seca total da planta de citronela nos tratamentos de cortes de raiz: (A) sem corte nas folhas; (B) corte nas folhas aos 145 dias após plantio; (C) corte nas folhas aos 228 dias após plantio; (D) corte nas folhas aos 145 e 228 dias após plantio. As barras indicam os desvios padrão

essa espécie, uma recuperação mais rápida, quando somente submetida ao estresse na parte aérea.

Os dados da evolução do acúmulo de matéria seca total nas plantas de citronela, no tratamento de cortes nas folhas, também corroboram o tratamento com 100% de corte na raiz, mas sem cortes nas folhas, que é mais representativo para o último período analisado em relação aos demais cortes nas raízes.

Verificou-se que o tratamento com 100% de corte na raiz, mas sem corte nas folhas, aumentou a massa seca em relação aos demais tratamentos, para o último período de análise. Mesmo sofrendo estresse, as plantas desse tratamento obtiveram uma maior recuperação na massa seca de suas raízes, bem como quando comparadas ao controle.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), código de financiamento 001; ao Conselho Nacional de Desenvolvi-

mento Científico e Tecnológico (CNPq); e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

- AGNOLIN, C.A.; OLIVO, C.J.; LEAL, M.L.R.; BECK, R.C.R.; MEINERZ, G.R.; PARRA, C.L.C.; MACHADO, P.R.; FOLETTI, V.; BEM, C.M.; NICOLINI, P.R.S.J. Eficácia do óleo de citronela [*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle] no controle de ectoparasitas de bovinos. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 12, n. 4, p. 482-487, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722010000400012>
- ANDRADE, L. H.; OLIVEIRA, J. V.; LIMA, I. M. M.; SANTANA, M. F.; BRENDA, M. O. Efeito repelente de azadiractina e óleos essenciais sobre *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em algodoeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 628-634, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300027>
- ANDRADE, M. A.; CARDOSO, M. G.; BATISTA, L. R.; MALLET, A. C. T.; MACHADO, S. M. F. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 2, p. 399-408, 2012.
- AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; MORAES, D. M.; VILLELA, F. A.; LOPES, N. F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de Maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. *Planta Daninha*, v. 31, n. 1, p. 99-108, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000100011>
- BENSON, A. R.; MORGENROTH, J.; KOESER, A. K. The effects of root pruning on growth and physiology of two *Acer* species in New Zealand. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 38, p. 64-73, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.006>
- BREUER, G.; MARTENS, D. E.; DRAAISMA, R. E.; WIJFFELS, R. H.; LAMERS, P. P. Photosynthetic efficiency and carbon partitioning in nitrogen-starved *Scenedesmus obliquus*. *Algal Research*, v. 9, p. 254-262, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2015.03.012>
- CORRÊA, J. C.; SCHEFFER, M. C. *Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares*. 2. ed. Curitiba: Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural, 2013. 52 p.
- DONG, T.; DUAN, B.; ZHANG, S.; KORPELAINEN, H.; NIINEMETS, U.; LI, C. Growth, biomass allocation and photosynthetic responses are related to intensity of root severance and soil moisture conditions in the plantation tree *Cunninghamia lanceolata*. *Tree Physiology*, v. 36, n. 7, p. 807-817, 2016. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw025>

- FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C.; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. *Bragantia*, v. 68, n. 3, p. 563-571, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000300002>
- FANG, C.; FERNIE, A. R.; LUO, J. Exploring the Diversity of Plant Metabolism. *Trends in Plant Science*, v. 24, n. 1, p. 83-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.09.006>
- FARIA, A. P. de; MARABESI, M. A.; GASPAR, M.; FRANÇA, M. G. C. The increase of current atmospheric CO₂ and temperature can benefit leaf gas exchanges, carbohydrate content and growth in C₄ grass invaders of the Cerrado biome. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 127, p. 608-616, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.042>
- FERNANDES, T.; FERNANDES, I.; ANDRADE, A. P. C.; CORDEIRO, N. Marine microalgae growth and carbon partitioning as a function of nutrient availability. *Bioresource Technology*, v. 214, p. 541-547, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.001>
- FINI, A.; FERRINI, F.; FRANGI, P.; PIATTI, R.; AMOROSO, G. Effects of root severance by excavation on growth, physiology and uprooting resistance of two urban tree species. *Acta Horticulturae*, v. 990, p. 487-494, 2013. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.990.63>
- FUCHS, B.; KRISCHKE, M.; MUELLER, M. J.; KRAUSS, J. Plant age and seasonal timing determine endophyte growth and alkaloid biosynthesis. *Fungal Ecology*, v. 29, p. 52-58, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.06.003>
- HU, C.; SADRAS, V. O.; LU, G.; ZHANG, R.; YANG, X.; ZHANG, S. Root pruning enhances wheat yield, harvest index and water-use efficiency in semiarid area. *Field Crops Research*, v. 230, p. 62-71, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.013>
- KANG, S.; PARK, W. J.; MOON, Y. E.; SONG, K. J.; LEE, J. Scion root pruning affects leaf C/N ratio and physiological performance of “Shiranuhi” mandarin trees grown in a greenhouse. *Scientia Horticulturae*, v. 253, p. 42-48, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.013>
- LI, P.; LI, B.; SENEWEERA, S.; ZONG, Y.; LI, F. Y.; HAN, Y.; HAO, X. Photosynthesis and yield response to elevated CO₂, C₄ plant foxtail millet behaves similarly to C₃ species. *Plant Science*, v. 285, p. 239-247, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.05.006>
- LIMA, J. C.; OLIVEIRA, U. C.; SILVA, J. S.; SILVA, J. S.; SOUZA, G. S. Adubação fosfatada e qualidade de luz na produção de biomassa do capim-limão. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, p. 45, 2013.
- LIU, N.; WU, S.; GUO, Q.; WANG, J.; CAO, C.; WANG, J. Leaf nitrogen assimilation and partitioning differ among subtropical forest plants in response to canopy addition of nitrogen treatments. *Science of the Total Environment*, v. 637-638, p. 1026-1034, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.060>
- MA, S.; LI, F.; YANG, S.; LI, C.; XU, B.; ZHANG, X. Effects of Root Pruning on Non-Hydraulic Root-Sourced Signal, Drought Tolerance and Water Use Efficiency of Winter Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 12, n. 6, p. 989-998, 2013. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60476-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60476-1)
- MASHAMAITE, C. V.; DUBE, Z. P.; PHIRI, E. E. Chemical root-pruning of *Moringa oleifera* for improved seedling growth. *South African Journal of Botany*, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.003>
- MATTOS, M. L. T.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A. Perda de sólidos e nutrientes na água de lavoura de arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. *Anais... Santa Maria: Orium*, 2005. v. 2. p. 555-557.
- PESCHIUTTA, M. L.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; BUCCI, S. J. Herbivory alters plant carbon assimilation, patterns of biomass allocation and nitrogen use efficiency. *Acta Oecologica*, v. 86, p. 9-16, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2017.11.007>

- PILON, C.; SNIDER, J. L.; SOBOLEV, V.; CHASTAIN, D. R.; SORENSEN, R. B.; MEEKS, C. D.; MASSA, A. N.; WALK, T.; SINGH, B.; EARL H. J. Assessing stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation under progressive drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Physiology*, v. 231, p. 124-134, 2018.
- ROCHA, H. C. R.; ALVARENGA, C. D.; GIUSTOLIN, T. A.; BRANT, R. S.; SOUZA, M. D. C.; SARMENTO, H. G. S.; BARBOSA, M. G. 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. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 14, n. esp., p. 183-187, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722012000500010>
- SAGE, R. F.; SULTMANIS, S. Why are there no C 4 forests? *Journal of Plant Physiology*, v. 203, p. 55-68, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2016.06.009>
- SALAH, H. B. H.; TARDIEU, F. Control of Leaf Expansion Rate of Droughted Maize Plants under Fluctuating Evaporative Demand. *Plant Physiology*, v. 114, n. 3, p. 893-900, 1997. <https://doi.org/10.1104/pp.114.3.893>
- SÁNCHEZ, E.; GIL, S.; AZCÓN-BIETO, J.; NOGUÉS, S. The response of *Arundo donax* L. (C 3) and *Panicum virgatum* (C 4) to different stresses. *Biomass and Bioenergy*, v. 85, p. 335-345, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.12.021>
- TAKSHAK, S.; AGRAWAL, S. B. Defense potential of secondary metabolites in medicinal plants under UV-B stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 193, p. 51-88, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.02.002>
- THAKUR, M.; BHATTACHARYA, S.; KHOSLA, P. K.; PURI, S. Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 12, p. 1-12, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.004>
- VELOSO, R. A.; DE CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; DOS SANTOS, G. R.; BARBOSA, L. C. A.; DA SILVA, K. P. Composição e fungitoxicidade do óleo essencial de capim citronela em função da adubação orgânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 12, p. 1707-1713, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001200005>
- VENTER, G. J.; LABUSCHAGNE, K.; BOIKANYO, S. N.; MOREY, L. Assessment of the repellent effect of citronella and lemon eucalyptus oil against South African Culicoides species. *Journal of the South African Veterinary Association*, v. 85, n. 1, p. e1-e5, 2014. <https://doi.org/10.4102/jsava.v85i1.992>
- WU, X.; YUAN, J.; LUO, A.; CHEN, Y.; FAN, Y. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in dendrobium moniliforme. *Industrial Crops and Products*, v. 94, p. 385-393, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.041>
- ZHANG, H.-Y.; HARTMANN, H.; GLEIXNER, G.; THOMA, M.; SCHWAB, V. F. Carbon isotope fractionation including photosynthetic and post-photosynthetic processes in C3 plants: Low [CO₂] matters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 245, p. 1-15, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2018.09.035>
- ZHANG, L.; PEI, H.; CHEN, S.; JIANG, L.; HOU, Q.; YANG, Z.; YU, Z. Salinity-induced cellular cross-talk in carbon partitioning reveals starch-to-lipid biosynthesis switching in low-starch freshwater algae. *Bioresource Technology*, v. 250, p. 449-456, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.067>
- ZHANG, S.; AI, G.; LI, M.; YE, Z.; ZHANG, J. Tomato LrgB regulates heat tolerance and the assimilation and partitioning of carbon. *Plant Science*, v. 274, p. 309-319, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.001>

