

APROVEITAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA LEITEIRA NO CULTIVO DE CITRONELA: EFEITOS NA ATIVIDADE FOTOQUÍMICA E NA BIOMASSA

WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE IN CITRONELLA CULTIVATION:
EFFECTS ON PHOTOCHEMICAL ACTIVITY AND BIOMASS

Leonardo da Silva Hamacher 

Discente no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – Seropédica (RJ), Brasil.

Cristina Moll Hüther 

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

Leonardo Duarte Batista da Silva 

Docente no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – Seropédica (RJ), Brasil.

Dirlane de Fátima do Carmo 

Docente no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente do PGEB, Universidade Federal Fluminense – Niterói (RJ), Brasil.

Joana Mayer Coutada 

Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil.

Thais Gandelman Schtruk 

Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente 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 Biosistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil.

Daiane Cecchin 

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

Thelma de Barros Machado 

Docente no Departamento de Tecnologia Farmacêutica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil.

Camila Ferreira de Pinho 

Docente no Departamento de Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – Seropédica (RJ), Brasil.

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

Recebido em: 06/08/2019

Aceito em: 11/11/2019

RESUMO

Águas residuárias de bovinocultura (ARB) leiteira são alternativas para fornecer os nutrientes minerais, reduzindo o uso de fertilizantes. Assim, avaliaram-se a resposta da atividade fotoquímica e o ganho de biomassa em citronela sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de ARB. O nitrogênio foi o elemento de referência com base no qual se calculou a quantidade de ARB equivalente a ser aplicada. Assim, as doses de nitrogênio aplicadas via ARB foram de 100, 200, 300 e 400% em relação à adubação mineral utilizada no controle. Fluorescência da clorofila *a*, pigmentos e massa seca foram analisados. Verificou-se que a resposta da citronela às doses de ARB aplicadas foi tempo-dependente, e a energia absorvida pelos fotossistemas foi utilizada para redução dos aceptores finais na cadeia de transporte de elétrons, promovendo, em todas as doses, melhor eficiência fotoquímica, mas isso não refletiu no ganho de biomassa, principalmente das folhas.

Palavras-chave: *Cymbopogon nardus* L.; fluorescência clorofila *a*; nitrogênio; fertirrigação.

ABSTRACT

Dairy cattle wastewater (DCW) is an alternative to provide mineral nutrients, reducing the use of fertilizers. Thus, the response of photochemical activity and biomass gain in citronella under different nitrogen doses applied via DCW slides were evaluated. Nitrogen was the reference element from which the equivalent amount of DCW to be applied was calculated. Thus, nitrogen rates applied via DCW were 100, 200, 300 and 400% in relation to mineral fertilization used in the control. Chlorophyll *a* fluorescence, pigments and dry mass were analyzed. The response of the citronella to the doses of DCW was time-dependent and the energy that was absorbed by the phosphosites was used to reduce the final acceptors in the electron transport chain, promoting better photochemical efficiency at all doses, but, this did not reflect in the biomass gain, mainly of the leaves.

Keywords: *Cymbopogon nardus* L.; chlorophyll *a* fluorescence; nitrogen; fertigation.

INTRODUÇÃO

A citronela (*Cymbopogon nardus*), pertencente à família Poaceae, é originária do continente asiático, particularmente do Sri Lanka (antigo Ceilão) e sul da Índia. É amplamente utilizada como planta aromática, em usos terapêuticos, perfumarias e atividade biocida (TRONGTOKIT *et al.*, 2005; CASTRO *et al.*, 2007; VELOSO *et al.*, 2012; GUPTA *et al.*, 2018). Vários autores apontam que as principais substâncias presentes no óleo essencial da citronela são citronelal, geraniol e citronelol (AGNOLIN *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2012; VELOSO *et al.*, 2012; VENTER *et al.*, 2014).

Óleos essenciais são produtos aromáticos de metabolismo secundário de plantas, normalmente produzidos por células secretoras ou grupos de células, sendo encontrados em diversas partes do vegetal, como folhas e talos (SCHERER *et al.*, 2009; GUPTA *et al.*, 2018; FEISTHER *et al.*, 2019).

As plantas em geral respondem às variações ambientais, apresentando modificações no seu metabolismo tanto primário quanto secundário. As plantas medicinais, mais especificamente, podem alterar a composição de seus princípios ativos, que são importantes substâncias que desempenham inúmeras funções, entre elas a defesa do vegetal (ALMEIDA; RODRIGUES, 2016; ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2019; COELHO *et al.*, 2019; FARHANGI-ABRIZ; GHASSEMI-GOLEZANI, 2019). Muitas dessas substâncias apresentam elevado valor comercial, como os óleos essenciais produzidos pela citronela (DAFLON *et al.*, 2019; GUPTA *et al.*, 2018; FEISTHER *et al.*, 2019).

Dessa forma, diversos trabalhos demonstram como as plantas medicinais, sob diferentes tratamentos, podem ser responsivas aos fatores abióticos e bióticos (MALEKI; GHORBANPOUR; KARIMAN, 2017; NETSHILUVHI; ELOFF, 2019; TAKSHAK; AGRAWAL, 2019), estressantes ou com efeito benéfico ao metabolismo das plantas (MA *et al.*, 2019; REZAEI *et al.*, 2019). No entanto, o metabolismo primário, como, por exemplo, a atividade fotossintética, requer vários fatores essenciais, em concentrações adequadas e taxas constantes, para que ocorra de maneira satisfatória e produza melhores resultados (FARZADFAR; ZARINKAMAR; HOJATI, 2017; LU *et al.*, 2019; LUO; ZHOU *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2019).

Entre esses recursos fundamentais para o desenvolvimento adequado do vegetal, está a nutrição mineral. Quando o cultivo é feito em solo, a nutrição é dependente dele, contudo, de acordo com a região, os solos são geralmente lixiviados e ácidos, o que resulta em baixa fertilidade (CHEN *et al.*, 2019; HONG; GAN; CHEN, 2019; LI *et al.*, 2019). A busca de informações sobre o efeito de nutrientes no desenvolvimento das plantas vem desde a época em que se observou que a adição de esterco e restos de animais promovia o aumento na produtividade das culturas (FONTES, 2014).

Dejetos de bovinos contêm quantidades significativas de nitrogênio e fósforo. Por isso, seu manejo inadequado pode causar eutrofização dos corpos de água e poluição do solo. Em contrapartida, o correto manejo desses resíduos estabilizados traz benefícios ao solo e à cultura, possibilitando a redução do uso de fertilizantes químicos convencionais (MACIEL *et al.*, 2019), além de fornecer destinação adequada.

Tradicionalmente, a adubação do solo é realizada via fonte mineral e tem como principais elementos o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Estes são os nutrientes mais exigidos para as culturas, com grande significado para a produtividade e consequente retorno econômico (HAFEEZ *et al.*, 2018). A nutrição vegetal também pode ser realizada via fonte orgânica, sendo as águas residuárias de bovinocultura (ARB) uma alternativa. O referencial para a definição das taxas de aplicação de águas residuárias na nutrição vegetal deve ser calculado em função da capacidade do sistema solo-planta em absorver o resíduo aplicado sem comprometer a qualidade do solo, da planta nem das águas subterrâneas (ERTHAL *et al.*, 2010; MACIEL *et al.*, 2019).

As ARB possuem potencial poluidor quando são mal descartadas. Dessa forma, sua aplicação para a fertirrigação em diferentes culturas tem se tornado objeto de estudo e, quando bem planejada, apresenta benefícios como a redução do uso de fertilizantes e dos custos de tratamento, além de ser fonte de nutrientes e água para as plantas (ERTHAL *et al.*, 2010).

Diferentemente dos limites estabelecidos em legislação para os teores de nitrogênio que podem ser lançados via efluente em corpos hídricos (BRASIL, 2011),

não há uma legislação específica para o descarte no solo (MATOS, 2006). Ainda, segundo o mesmo autor, as pesquisas têm apontado que, apesar do potencial poluidor relacionado ao lançamento de efluentes com altas concentrações de material orgânico no solo, o desenvolvimento de tecnologias para a liberação do nitrogênio no ambiente pode tornar o uso desses resíduos/nutrientes fundamental na agricultura moderna. Como exemplo, Silva (2012) demonstrou que as ARB podem substituir em parte o uso de torta de mamona como fonte de N na cultura da figueira sem prejudicar o solo. Já Jorge (2018), avaliando doses de ARB de até 300% da dose de referência de N recomendada, obteve resultados positivos e acima da média de produção nacional tanto para alface quan-

to para cenoura. Paralelamente, a redução da oferta hídrica para os mais diversos fins tem estimulado a busca por técnicas mais racionais de uso da água, bem como a identificação de fontes alternativas (ALVES *et al.*, 2018).

Sendo assim, é importante verificar como diferentes níveis de nutrição mineral, a exemplo daqueles oriundos da utilização de ARB, podem contribuir para a produção vegetal e como a cultura responde a esse fator. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a resposta da atividade fotoquímica em citronela sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de ARB, bem como o ganho em biomassa vegetal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de março e novembro de 2017, na área experimental Banco Ativo de Germoplasma, no *Campus* Gragoatá, da Universidade Federal Fluminense, cujas coordenadas são latitude 22°54'00"S, longitude 43°08'00"W e altitude 8 m. 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 adquiridas no Centro de Abastecimento do Estado da Guanabara (Cadeg), na cidade do Rio de Janeiro, com aproximadamente 20 cm de altura. Permaneceram por um mês na casa de vegetação para aclimatação às condições de iluminação, umidade relativa e temperatura local. Antes do transplante para vasos de polietileno de 18 L, foi realizada uma poda na parte aérea para uniformização das plantas. As mudas foram transplantadas para os vasos no dia 11 de março de 2017, e os vasos, dispostos na casa de vegetação, em uma área de 112 m² e com cobertura de plástico agrícola de 150 µm, além de sombrite com nível de 50% de sombreamento nas laterais e na cobertura. Os vasos foram dispostos com espaçamento entre linhas de 1 m e entre vasos de 0,50 m.

Para garantir boa drenagem, colocou-se de 2 a 3 cm de brita 0 no fundo dos vasos, e essa brita foi coberta por

uma manta geotêxtil. O solo utilizado foi classificado como de textura arenosa, conforme análise físico-química realizada pelo Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, segundo métodos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). Foi aplicado calcário agrícola dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 85%, na proporção de 210 g.m⁻², para a correção de acidez após análise de solo. A homogeneização foi realizada manualmente em recipiente contendo o solo, e os vasos tiveram 45 dias de repouso antes do plantio.

No dia em que as mudas foram transplantadas para os vasos, realizou-se a adubação de fósforo e potássio com a aplicação de óxido de potássio (K₂O), teor 60% - 10 g.planta⁻¹ e superfosfato simples (P₂O₅), teor 18% - 37 g.planta⁻¹, respectivamente, seguindo os resultados da análise de solo e as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004) para a adubação mineral da citronela.

A primeira aplicação de ARB foi realizada no dia 29 de maio de 2017 e, a partir de então, uma vez por semana. As ARB utilizadas nesse experimento foram preparadas com material *in natura* (fezes e urina de bovinos), coletado após a raspagem de um curral de propriedade particular localizado no bairro de Monjolos, município de São Gonçalo (RJ). Para manter as condições apresentadas por Erthal *et al.* (2010) e com a preocupação de se ter um volume final compatível a ser aplicado,

misturou-se 70% de água sem cloro com 30% de esterco fresco para o preparo das ARB empregadas no experimento. A caracterização da água residuária envolveu os parâmetros PH, condutividade elétrica, sólidos totais, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio orgânico, nitrogênio total, fósforo total, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, e o pH da água encontrado foi de 6,51 de acordo com o método da Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de 1986.

O cálculo para a determinação da lâmina de ARB equivalente à dose de nitrogênio recomendada para o cultivo da citronela foi feito de acordo com Matos (2006), além da referência da dose de nitrogênio necessária para o cultivo da citronela (SBCS, 2004), conforme Equação 1:

$$TA_{AR} = 1000 \frac{[N_{abs} - (T_{m1} MO \rho_s p 10^7 0,05 \frac{n}{12})]}{[T_{m2} N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nittrato})TR]} \quad (1)$$

Em que:

TA_{AR} = taxa anual de aplicação ($m^3 \cdot ha^{-1}$);

N_{abs} = absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada ($kg \cdot ha^{-1}$);

T_{m1} = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo ($kg \cdot kg^{-1}$);

MO = conteúdo de matéria orgânica do solo ($kg \cdot kg^{-1}$);

ρ = massa específica do solo ($t \cdot m^{-3}$);

n = número de meses de cultivo da cultura;

T_{m2} = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico ($kg \cdot kg^{-1} \cdot ano^{-1}$);

N_{org} = nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg \cdot L^{-1}$);

$N_{amoniacal}$ = nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg \cdot L^{-1}$);

$N_{nittrato}$ = nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg \cdot L^{-1}$);

TR = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura ($kg \cdot kg^{-1} \cdot ano^{-1}$).

Os tratamentos aplicados estão apresentados no Quadro 1.

Os percentuais de aplicação da lâmina de ARB foram definidos com base na lâmina calculada ($T2$). Para todos os tratamentos, foi aplicada a adubação mineral complementar de fósforo e potássio. A dose de N aplicada foi de $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ou aproximadamente $5 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$. Como o PRNT da ureia (fonte de nitrogênio utilizada) era de 45%, o total final foi de $11 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$, divididos em duas aplicações: a primeira, 30 dias após o transplântio; e a segunda, 90 dias após o transplântio.

A aplicação das diferentes dosagens da ARB no solo foi feita de forma manual, utilizando-se recipientes com diferentes graduações de volume para a diferenciação dos tratamentos. Ou seja, não se usou o sistema de irrigação para a aplicação do efluente, pois, além do potencial entupimento dos emissores, o sistema foi montado de maneira que a aplicação de água fosse idêntica para todas as plantas.

A irrigação da cultura foi realizada por um sistema de irrigação localizada, por meio de gotejadores (Figura 1). Nos dias em que ocorriam as aplicações de ARB nos diferentes tratamentos, a irrigação era feita manualmente, com o auxílio de recipientes graduados para que se aplicasse somente a quantidade de água necessária para suprir o volume já fornecido via ARB, de modo a não alterar as lâminas de água aplicadas nos diferentes tratamentos.

Para a obtenção dos dados de fluorescência da clorofila a , foram efetuadas três análises ao longo do expe-

Quadro 1 – Tratamentos avaliados no experimento com águas residuárias de bovinocultura (ARB).

T1	100% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral
T2	100% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T3	200% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T4	300% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB
T5	400% da dose de N recomendada fornecida via fertirrigação com ARB

T: testemunha; N: nitrogênio.

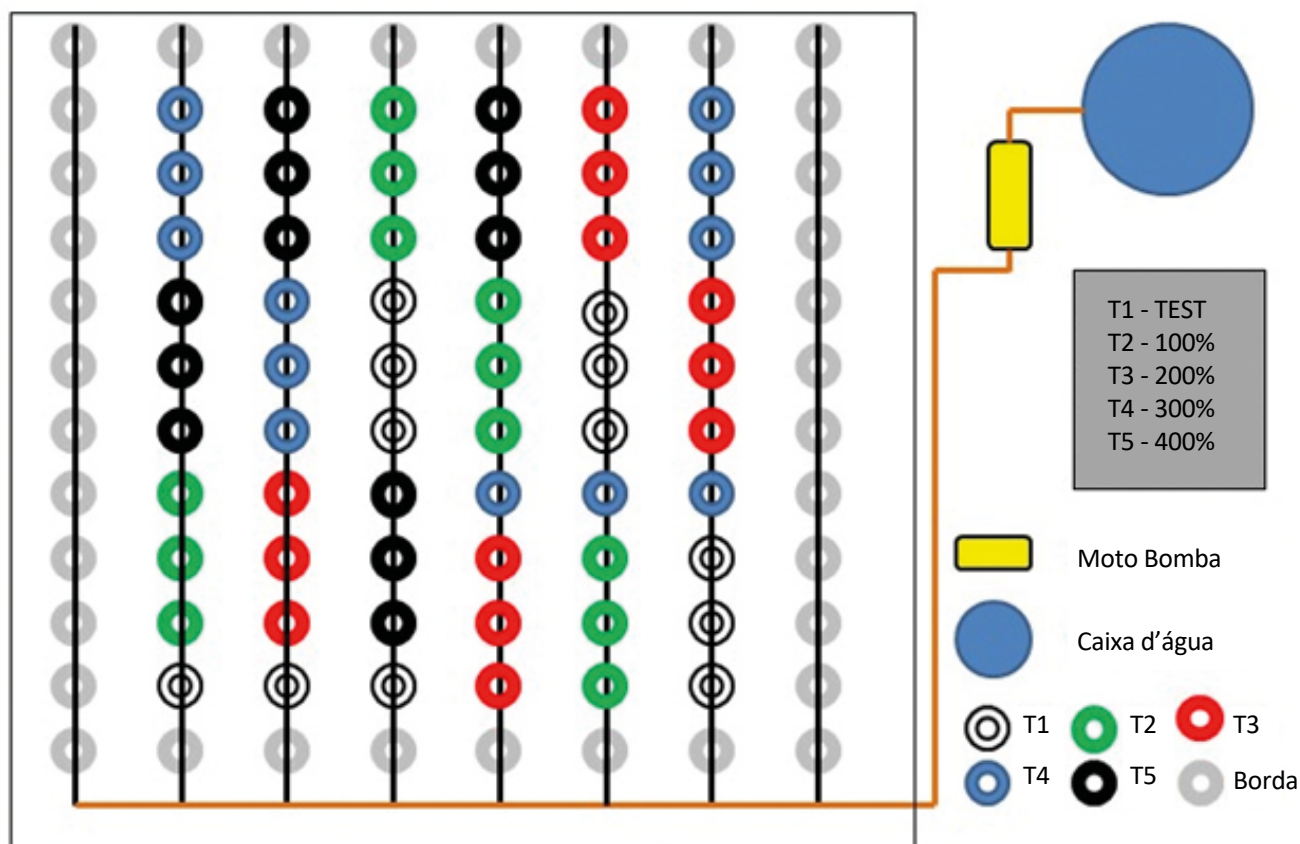
rimento: a primeira, leitura com 38 dias; a segunda, leitura com 140 dias; e a terceira, leitura com 182 dias após o início da aplicação da ARB.

A análise da fluorescência transiente da clorofila *a* foi realizada por tratamento em 15 folhas jovens completamente expandidas e não destacadas. As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando-se um fluorômetro portátil modelo Handy PEA (Hansatech Instruments, King's Lynn, Reino Unido). A seguir, um pulso saturante de 3.400 μmol fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ foi aplicado para a indução da fluorescência transiente. As intensidades de fluorescência transiente foram medidas entre 50 μs (fluorescência inicial — F0) e 1 s. Obtidos os valores da fluorescência transiente, calcularam-se os parâmetros do teste JIP

proposto por Strasser e Strasser (1995) e Tsimilli-Michael e Strasser (2008).

A determinação do teor de pigmentos fotossintéticos foi realizada espectrofotometricamente, de acordo com Arnon (1949), e ao final do experimento em todos os tratamentos. Amostras de 0,15 g de massa fresca foliar foram maceradas na presença de acetona 80%, e foi calculado o resultado da extração de pigmentos pelas equações de Hendry e Grime (1993), representado em $\mu\text{mol g MF}^{-1}$.

Foram amostradas cinco plantas por tratamento para a obtenção dos dados de acúmulo de matéria seca, partição de fotoassimilados entre folhas, caule e raízes, considerando-se a unidade amostral



T1: nitrogênio mineral; T2: 100%; T3: 200%; T4: 300%; T5: 400% da dose de nitrogênio recomendada para a citronela fornecida via águas residuárias da bovinocultura.

Figura 1 – Disposição das parcelas experimentais e parcelas de bordadura do cultivo realizado.

uma planta por vaso. Para isso, mantiveram-se as amostras da massa fresca em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72h, até atingir peso constante. Em seguida, elas foram pesadas em balança analítica, e os valores encontrados foram representados em gramas.

A análise estatística de variância (ANOVA) para os teores de pigmentos e massa seca foi realizada para os cinco tratamentos — quatro repetições para cada tratamento —, ao nível de 5% de significância. Quando observada diferença significativa pelo teste F, foi aplicado o teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de citronela, nos cinco tratamentos a que foram submetidas, exibiram alterações fisiológicas de acordo com cada dose de nitrogênio fornecida. De modo geral, para todos os tratamentos, o fornecimento de ARB leiteira proporcionou melhor eficiência na atividade fotoquímica dessas plantas, no entanto a resposta foi tempo-dependente.

Parâmetros biofísicos derivados das curvas de fluorescência transiente e alguns parâmetros do teste JIP (STRASSER; STRASSER, 1995) estão representados na Figura 2. Todos os dados dos parâmetros de fluorescência foram normalizados para o respectivo controle, sem aplicação de ARB.

Aos 38 dias (Figura 2A), as plantas de todos os tratamentos apresentaram respostas idênticas em relação a todos os parâmetros analisados ao nível do controle, com exceção somente do índice de *performance* (PIabs), para o tratamento com 400% de nitrogênio via fornecimento por ARB leiteira. Porém, para o parâmetro que indica o índice de *performance* total (PItotal) da cadeia de transporte de elétrons, todos os tratamentos permaneceram inferiores ao controle, corroborando com Yusuf *et al.* (2010), que afirmam que esse parâmetro é o mais sensível do teste JIP, porque incorpora vários parâmetros que são avaliados haja vista a fluorescência transiente. Evidencia-se, assim, que o período inicial de aplicação de ARB não promoveu melhor desempenho fotoquímico, talvez por causa do período de aclimação ao novo ambiente em que as plantas foram inseridas, tendo em vista que foram transplantadas de um local para outro até seu completo estabelecimento, principalmente associado ao sistema radicular. Segundo alguns autores, esse período varia de espécie para espécie, além da variação decorrente do fator sob análise (ESTRADA-LUNA; DAVIES JR., 2003; NILOFER *et al.*, 2018; MOHOTTIGE *et al.*, 2018).

Em relação à análise realizada aos 140 dias após o fornecimento de ARB (Figura 2B), foi perceptível de modo geral que, para todos os tratamentos, o fornecimento de ARB foi favorável à *performance* total da cadeia de transporte de elétrons. Isso demonstra que a eficiência fotossintética da planta foi aumentando à medida que aumentava a dose de nitrogênio fornecida por ARB, apresentando somente os fluxos de absorção por centro de reação (ABS/RC) do fotossistema II (FSII) inferiores ao controle, sendo o centro de reação do FSII um complexo pigmento proteico importante na transferência de elétrons e que recebe energia do complexo antena e a converte em energia química, usando reações de oxidação-redução (TAIZ *et al.*, 2017).

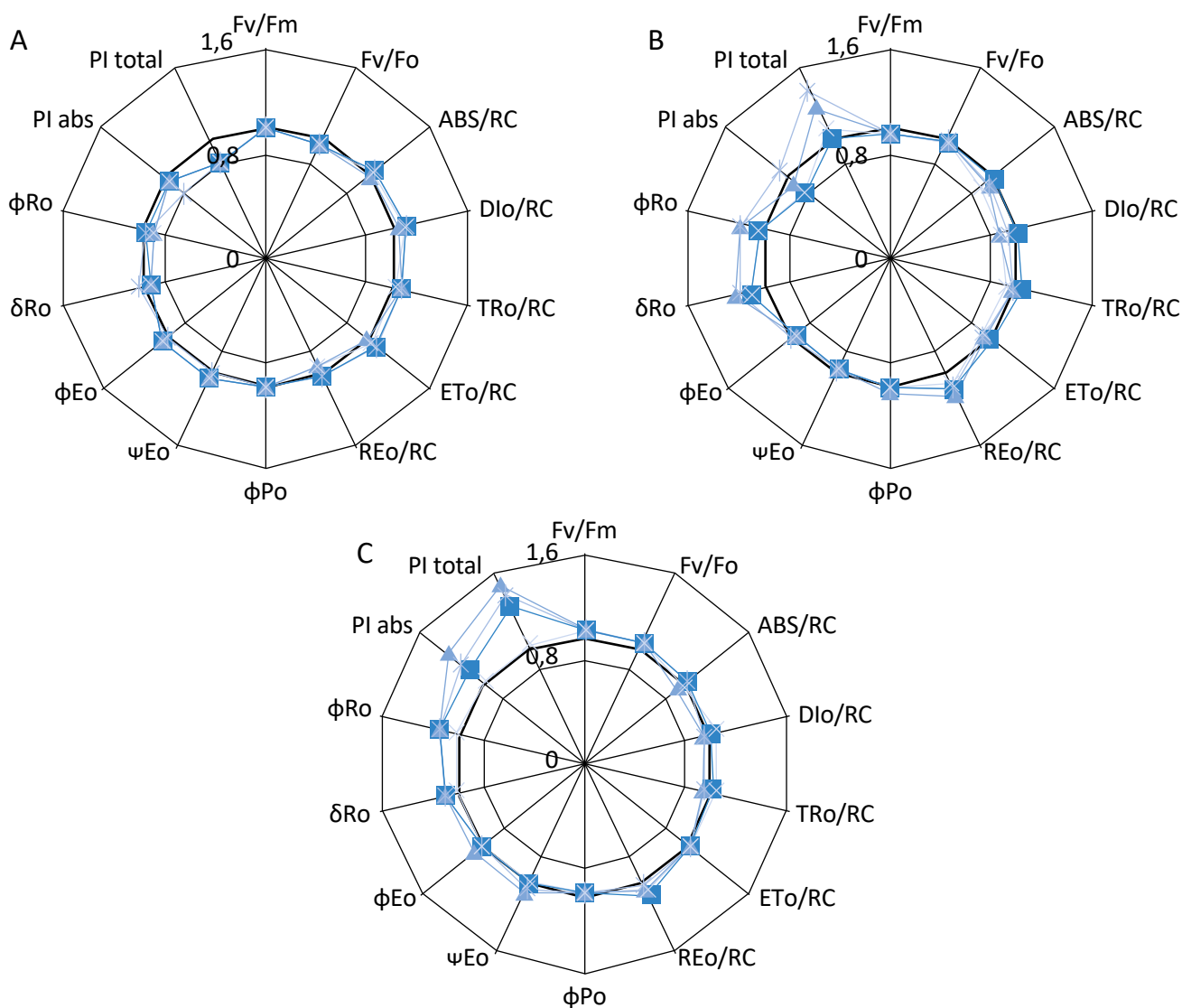
O fluxo específico de dissipação (DIO/RC) do excesso de energia por centro de reação ativo foi menor, mantendo-se a máxima taxa pela qual um éxciton é capturado pelo centro de reação. Isso resultou em diminuição de quinona A (QA) (TR0/RC) e na reoxidação de QA via transporte de elétrons em um centro de reação ativo (ET0/RC), o que proporcionou maior manutenção no fluxo relacionado à redução do aceptor final de elétrons do fotossistema I (FSI) (RE0/RC) e maior eficiência com que um elétron pode se mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI (δR_0). Também, no parâmetro que descreve o rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fóton absorvido (ϕR_0), os resultados foram a nível controle (sem alteração) ou a níveis superiores (melhores que o controle), ou seja, sem prejudicar o rendimento quântico.

Para a última análise, realizada aos 182 dias após o fornecimento de ARB (Figura 2C), as plantas apresentaram-se mais eficientes que na análise anterior (aos 140 dias) no tocante à atividade fotoquímica, com PItotal superior para todos os tratamentos, com exceção

do tratamento com 300% da dose de nitrogênio via ARB, que se manteve a níveis de controle para a maioria dos parâmetros.

Os índices de *performance* fotossintética, Plabs e PI-total, são parâmetros que incorporam os termos que

expressam potenciais parciais de conservação de energia na bifurcação sequencial de energia do éxciton até a redução dos aceptores de elétrons no intersistema de transporte de elétrons e dos aceptores finais do FSI, respectivamente (YUSUF *et al.*, 2010). Cada potencial



— controle, 100% da dose de nitrogênio recomendada fornecida via adubação mineral, (■) T2: 100% da dose de nitrogênio recomendada fornecida via ARB; (▲) T3: 200% da dose de nitrogênio recomendada fornecida via ARB; (*) T4: 300% da dose de nitrogênio recomendada fornecida via ARB; (×) T5: 400% da dose de nitrogênio recomendada fornecida via ARB.

Figura 2 – Parâmetros do teste JIP em relação ao respectivo controle obtidos da fluorescência transiente das clorofilas de plantas de citronela cultivadas sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura (ARB) leiteira: (A) 38 dias após o início da aplicação da ARB; (B) 140 dias após o início da aplicação da ARB; (C) 182 dias após o início da aplicação da ARB.

parcial é dado pela razão da eficiência de conservação de energia dividida pelo complemento da eficiência.

Portanto, de acordo com as respostas da análise da fluorescência da clorofila *a*, para as plantas de citronela com diferentes doses de nitrogênio e fornecimento via ARB, comparando-se ao controle (sem aplicação de ARB), pôde-se verificar que a água residuária promoveu nutrição mineral suficiente, o que ocasionou respostas adequadas para a atividade fotoquímica. Isso pode contribuir na promoção do crescimento e do desenvolvimento, pois a obtenção de boas produtividades geralmente está condicionada ao fornecimento de nutrientes, como o NPK, via adubação mineral e/ou orgânica (ERTHAL *et al.*, 2010; ALVES *et al.*, 2018; FONTES, 2014).

Os teores de pigmentos fotossintéticos, pertinentes à absorção de energia luminosa para a fotossíntese, assim como o pigmento acessório (carotenoide) (TAIZ *et al.*, 2017), estão representados na Tabela 1. Observa-se que somente para carotenoides ocorreu diferença entre os tratamentos, evidenciando-se o maior teor no tratamento com 100% da dose recomendada de nitrogênio fornecida via ARB leiteira, mas não diferindo do tratamento com a maior dose de nitrogênio via ARB. Logo, o menor teor de carotenoides foi verificado no tratamento sem aplicação de ARB, demonstrando que a ARB pode promover maior biossíntese dessa molécula absorvedora de luz em organismos fotossintéticos, trabalhando em conjunto com a clorofila *a*.

Mesmo fornecendo nitrogênio em maior quantidade para as plantas do tratamento com 400% da dose de

nitrogênio recomendada para a cultura de citronela, este não foi utilizado para a maior biossíntese de clorofila nessas plantas. Os teores de clorofila (*a* e *b*) não apresentaram diferença entre os tratamentos, mesmo que o nitrogênio estivesse em maior quantidade no solo, como indicou a análise química do solo realizada após o encerramento do experimento. Verificou-se que a quantidade de nitrogênio, quando se comparou o tratamento com nutrição mineral (sem aplicação de ARB) ao tratamento com 400% da dose nitrogênio recomendada via ARB, foi de 8,9%, apontando aumento dependente da dose para os tratamentos (Tabela 2).

Por se tratar de um elemento mineral que pode ser tanto armazenado como assimilado, o nitrogênio (LIU *et al.*, 2018; QIAO *et al.*, 2019) é muito necessário para o crescimento e o desenvolvimento adequados do vegetal, possuindo inúmeras funções bioquímicas, tais como a composição de compostos de carbono, entre outras (AWAIS *et al.*, 2017).

O nitrogênio presente no solo antes da realização dos tratamentos com ARB estava em menor quantidade, no entanto apresentou ao longo dos tratamentos acréscimo conforme o aumento da dose de nitrogênio na água residuária, ou seja, na dose dependente. A mesma resposta foi verificada com o valor do pH do solo para os diferentes tratamentos, obtendo-se ao final acréscimo de 1,90 no pH do solo no tratamento com 400% da dose de nitrogênio necessária.

A faixa de pH considerada ideal é de 5,5 a 6,5, para que a maioria dos nutrientes esteja disponível (LUCAS; DAVIS, 1961; TAIZ *et al.*, 2017), pois o pH do solo tem grande influência sobre a disponibilidade de elementos mine-

Tabela 1 – Valores médios de pigmentos fotossintéticos de citronela em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura (ARB) leiteira.

	T1-controle 100% de N via adubação mineral	T2-100% da dose de N via ARB	T3-200% da dose de N via ARB	T4-300% da dose de N via ARB	T5-400% da dose de N via ARB
Clorofila <i>a</i>	2,4889 ^{NS}	3,9519 ^{NS}	3, 2502 ^{NS}	3,3383 ^{NS}	3,8713 ^{NS}
Clorofila <i>b</i>	0,9042 ^{NS}	1,7151 ^{NS}	2,1969 ^{NS}	2,0550 ^{NS}	2,1661 ^{NS}
Carotenoides	0,0013 c	0,0019 a	0,0018 ab	0,0014 bc	0,0018 ab
Clorofila total	3,3931 ^{NS}	5,6670 ^{NS}	5,4472 ^{NS}	5,3933 ^{NS}	6,0374 ^{NS}
Razão clorofila <i>a/b</i>	3,0573 ^{NS}	3,6262 ^{NS}	1,6689 ^{NS}	2,1099 ^{NS}	1,8807 ^{NS}

N: nitrogênio; *as médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; NS: não significativo.

rais para as plantas, bem como sobre a atividade microbiana (MOHOTTIGE *et al.*, 2018; SILVA-SÁNCHEZ *et al.*, 2019; TAIZ *et al.*, 2017; TORABIAN; FARHANGI-ABRIZ; DENTON, 2019). Dessa forma, no presente experimento, viu-se que, no tratamento com 100% da dose recomendada de nitrogênio fornecida via ARB até a maior dose de nitrogênio, a aplicação de ARB ajudou a aumentar o pH do solo quando este se encontra ácido, o que não foi constatado no tratamento sem aplicação de ARB.

Teixeira (2016) verificou que o uso de ARB altera o pH do solo, contribuindo para que este seja elevado por causa da incorporação de resíduos orgânicos no solo. De acordo com Matos (2014), a liberação de ácidos orgânicos solúveis logo após a incorporação de resíduos orgânicos auxilia na acidificação do solo, entretanto, com a mineralização do material orgânico, os ácidos alcalinoterrosos (como K, Na, Ca e Mg) e outros íons passam a ser disponibilizados no meio. Esses íons proporcionam diminuição na atividade (força iônica) do hidrogênio e do alumínio (sua reação com a água proporciona a liberação de H⁺) no meio, o que se traduz em aumento do seu pH.

Há alteração na absorção de nutrientes minerais do solo quando o pH está fora da faixa ideal, implicando deficiência mineral à planta, o que promove perturbações em seu metabolismo e funcionamento. Deve-se ressaltar que o excesso de nutrientes pode proporcionar a chamada zona de toxicidade para o vegetal (BALDI *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2017). Assim, nesse experimento os tratamentos com ARB

possivelmente apresentaram nutrição mineral adequada, se considerada apenas a necessidade de um pH adequado para a absorção da maioria dos elementos minerais. Isso se evidenciou nas análises de fluorescência da clorofila *a*, ao fim das quais as plantas não se encontravam estressadas. Todavia, não somente o pH influencia na absorção dos nutrientes minerais pelo vegetal, como também a umidade e a matéria orgânica do solo. Ou seja, o solo deve possuir propriedades químicas e físicas adequadas (CHEN *et al.*, 2019; HONG; GAN; CHEN, 2019; TORABIAN; FARHANGI-ABRIZ; DENTON, 2019).

O fósforo e o potássio também são nutrientes exigidos em quantidades maiores nos tecidos vegetais. O fósforo é importante no armazenamento de energia, na integridade estrutural, entre outras funções (FREW, 2019; LIN *et al.*, 2019; SCHWAMMBERGER *et al.*, 2019). Nesta pesquisa, ele foi encontrado em maior quantidade nos solos dos tratamentos que apresentavam as doses de 200 e 300% de nitrogênio fornecido via ARB, e o solo que apresentou a menor quantidade foi o que continha adubação mineral sem ser via ARB. Ou seja, o maior fornecimento de nitrogênio pelas doses de ARB promoveu também maior concentração de fósforo no solo, o que pode promover desequilíbrio nutricional, quando em elevada concentração, e ocasionar toxicidade (TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, quando comparados os dois tratamentos com 100% da dose recomendada para a cultura, tanto mineral quanto via fornecimento de ARB, o solo que continha ARB apresentou acréscimo de 132% para o fósforo em relação à adubação mineral de fósforo. Quando se observa a análise inicial do solo,

Tabela 2 – Dados extraídos da análise química do solo em relação às diferentes doses de nitrogênio aplicadas via lâminas de águas residuárias de bovinocultura (ARB) leiteira no cultivo de citronela.

Análise do solo							
Parâmetros	Unidade	Pré-tratamentos	Pós-tratamentos				
			T1-controle-100% de N via adubação mineral	T2-100% da dose de N via ARB	T3-200% da dose de N via ARB	T4-300% da dose de N via ARB	T5-400% da dose de N via ARB
pH	upH	4,20	4,90	5,50	5,60	6,00	6,10
K	mg.dm ⁻³	14,00	85,58	337,86	319,98	323,95	325,94
P	mg.dm ⁻³	9,45	602,87	1.401,51	1.068,04	986,61	816,90
N	g.kg ⁻¹	1,40	1,46	1,46	1,50	1,52	1,58

pH: potencial hidrogeniônico; K: potássio; P: fósforo; N: nitrogênio.

pré-tratamentos, e após os tratamentos, a quantidade de fósforo e potássio aumentou muito em relação às de nitrogênio.

O potássio é classificado conforme o grupo de nutrientes que permanecem na forma iônica — importante cátion inorgânico em plantas —, com papel substancial em vários processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos (HAFEEZ *et al.*, 2018), e também desempenha múltiplas funções na adaptação ao estresse (ASSAHA *et al.*, 2017; HASANUZZAMAN *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2019). Esse nutriente apresentou a mesma tendência do fósforo nas análises experimentais, entretanto o maior incremento na concentração de potássio foi observado no tratamento com 100% da dose de nitrogênio fornecido via ARB (Tabela 2). A análise desses elementos minerais presentes no solo, tanto no início quanto ao final das análises, é imprescindível para relacionar a sua utilização pelo vegetal e seu ganho de

massa ao final, bem como a partição de massa entre os órgãos do vegetal, pois vários fatores podem alterar o padrão de fixação, alocação e particionamento de biomassa (BREUER *et al.*, 2015; ETEMADI *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2018; NOMAN *et al.*, 2018; PESCHIUTTA *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2019).

A avaliação dos dados de massa seca total mostrou que os tratamentos com ARB não resultaram em maior ganho de massa seca total (Figura 3), no entanto Mendonça *et al.* (2016), trabalhando com ARB em cana-de-açúcar, verificaram que o crescimento das cultivares foi semelhante quando comparado àquele obtido no tratamento com ureia. Todavia, outros autores ressaltam que maiores doses de biofertilizante proporcionam maior eficácia no crescimento da cana-de-açúcar, espécie com o mesmo metabolismo fotosintético da planta de citronela (SANGWAN *et al.*, 1993;

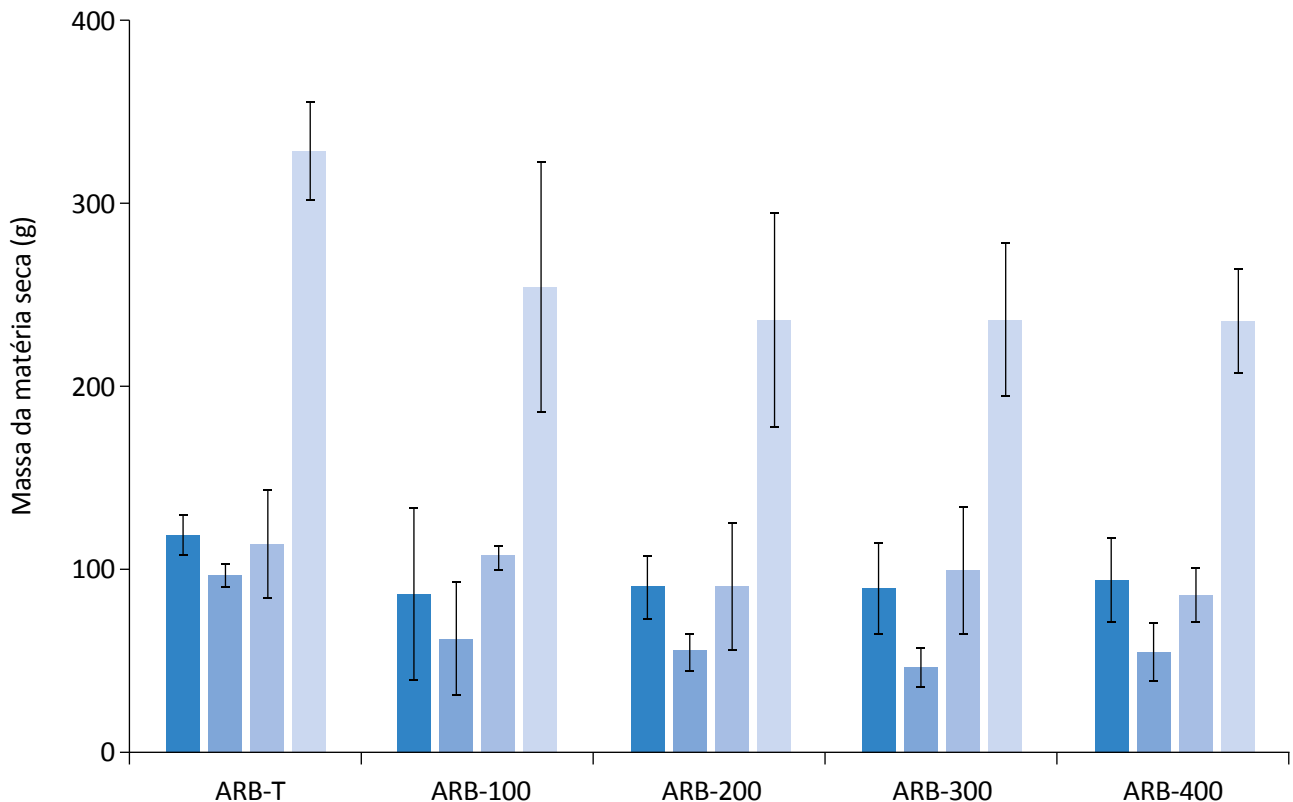


Figura 3 – Massa de matéria seca de folha (■), caule (■), raiz (■) e total (■) de citronela, nos tratamentos: testemunha com águas residuárias de bovinocultura (ARB-T), tratamento 1 (ARB-100), tratamento 2 (ARB-200), tratamento 3 (ARB-300) e tratamento 4 (ARB-400). Barra indica desvio padrão.

SIVASHANMUGAM *et al.*, 2009; GUPTA *et al.*, 2018; HARTZELL; BARTLETT; PORPORATO, 2018).

Quando analisada a partição alocada em cada órgão da citronela, verificou-se que somente no caule houve diferença significativa entre os tratamentos. A maior produção ocorreu em ambos os tratamentos com fornecimento de nitrogênio na dose de 100% recomendada para a espécie, tanto na forma mineral quanto via fornecimento por ARB. O mesmo resultado foi encontrado por Daflon *et al.* (2019), que trabalharam também com citronela, com diferentes cortes no sistema radicular, e o tratamento com corte de 100% foi o que mostrou maior acúmulo de massa seca foi o caule nessa situação. Isso foi importante, pois, com as raízes sendo 100% cortadas, mas mantendo-se as folhas, as plantas apresentaram maior acúmulo de massa seca total, demonstrando que as raízes se recuperaram em função dos recursos provenientes de seus caules para essas plantas emitirem novas raízes.

As folhas são matérias-primas de importância econômica para a extração dos princípios ativos utilizados na indústria cosmética e farmacêutica (VENTER *et al.*, 2014; GUPTA *et al.*, 2018; FEISTER *et al.*, 2019). Neste trabalho, nenhum tratamento com ARB demonstrou maior ganho de massa foliar. Esses resultados não corroboram com os observados nas análises de fluorescência da clorofila *a*, em que os tratamentos com ARB apresentaram maiores *Pl*total, com exceção do tratamento com ARB com 300% de nitrogênio, que manteve níveis de controle. Entretanto, cabe salientar que maior eficiência na atividade fotoquímica não significa maior transformação em ganho de massa pela planta,

pela atividade bioquímica da fotossíntese, pois a energia gerada pela fotossíntese também é utilizada para outras atividades metabólicas da planta, como, por exemplo, as de manutenção (SALISBURY *et al.*, 2018).

Em relação aos resultados observados na fluorescência da clorofila *a* e nas demais análises, evidenciou-se, de modo geral, que o mais indicado para o cultivo de citronela com ARB são as doses de 100 e 200% de nitrogênio, valores intermediários para a concentração de nutrientes minerais. Destaca-se, assim, o fato de que o fornecimento de ARB leiteira para a produção de citronela é eficiente em vários aspectos e, além disso, promove o aproveitamento de um resíduo com alto potencial poluidor (ERTHAL *et al.*, 2010) quando não lhe é fornecido destino adequado. Essa água possui alta carga orgânica, e, segundo Konzen e Alvarenga (2009), a produção diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos leiteiros é de aproximadamente 10% de seu peso corporal, o que representa, na maioria dos casos, quantidade de 45 a 48 kg/vaca/dia, valor que pode ser mais significativo ainda em função do número de animais e da vazão do corpo hídrico receptor.

No entanto, mais investigações são necessárias para entender como essas diferentes doses de nitrogênio via fornecimento por intermédio de ARB podem alterar e/ou regular a biossíntese de compostos do metabolismo secundário dessa espécie, que apresenta grande importância econômica. O uso desse resíduo, além das vantagens agronômicas, fornece uma alternativa de destinação, atendendo ao capítulo 3, artigo 27, da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430, que trata das condições e dos padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

CONCLUSÕES

O fornecimento de nitrogênio por aplicação de ARB leiteira na cultura de citronela foi favorável para a *performance* total da cadeia de transporte de elétrons. Verificou-se que a eficiência fotossintética da planta foi aumentando à medida que aumentava a dose de nitrogênio fornecida por ARB, ainda que não se refletisse em ganho de biomassa.

As doses de nitrogênio fornecidas pela ARB leiteira, além do recomendado para a cultura de citronela, contribuem para o aumento do pH, fósforo e potássio, sendo doses dependentes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) — Código de Financiamento 001 — ,

do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da 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.; FOLETTO, V.; BEM, C. M.; NICOLODI, P. R. S. J. Eficácia do óleo de citronela [*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle] no controle de ectoparasitas de bovinos. *Revista Brasileira de plantas Medicinai*s, v. 12, n. 4, p. 482-487, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722010000400012>
- ALMEIDA, G. M.; RODRIGUES, J. G. L. Desenvolvimento de plantas através da Interferência de auxinas, citocininas, etileno e giberelinas. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, v. 9, n. 3, p. 111-117, 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/PAeT.V9.N3.13>
- ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 5, p. 833-839, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018136152>
- 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.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin: A New Plant Hormone and/or a Plant Master Regulator? *Trends Plant Science*, v. 24, n. 1, p. 38-48, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.010>
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxylase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949. <https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1>
- ASSAHA, D. V. M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M. W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Frontiers in Physiology*, v. 8, p. 509, 2017. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffphys.2017.00509>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457: AMOSTRAS DE SOLOS – Preparação para ensaios de compactação e caracterização*. Rio de Janeiro, 1986.
- AWAIS, M.; WAJID, A.; BASHIR, M. U.; HABIB-UR-RAHMAN, M.; RAZA, M. A. S.; AHMAD, A.; SALEEM, M. F.; HAMMAD, H. M.; MUBEEN, M.; SAEED, U.; ARSHAD, M. N.; FAHAD, S.; NASIM, W. Nitrogen and plant population change radiation capture and utilization capacity of sunflower in semi-arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 21, p. 17511-17525, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9308-7>
- BALDI, E.; MIOTTO, A.; CERETTA, C. A.; QUARTIERI, M.; SORRENTI, G.; BRUNETTO, G.; TOSELLI, M. Soil-applied phosphorous is an effective tool to mitigate the toxicity of copper excess on grapevine grown in rhizobox. *Scientia Horticulturae*, v. 227, p. 102-111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.010>
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.03.012>
- CASTRO, H. G.; BARBOSA, L. C. A.; LEAL, T. C. A. B.; SOUZA, C. M.; NAZARENO, A. C. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, v. 9, p. 55-61, 2007.

- CHEN, Z.; ZHOU, X.; GENG, S.; MIAO, Y.; CAO, Y.; CHEN, Z.; ZHANG, J.; HAN, S. Interactive effect of nitrogen addition and through fall reduction decreases soil aggregate stability through reducing biological binding agents. *Forest Ecology and Management*, v. 445, p. 13-19, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.057>
- COELHO, J.; ALMEIDA-TRAPP, M.; PIMENTEL, D.; SOARES, F.; REIS, P.; REGO, C.; MITHÖFER, A.; FORTES, A. M. The study of hormonal metabolism of Trincadeira and Syrah cultivars indicates new roles of salicylic acid, jasmonates, ABA and IAA during grape ripening and upon infection with *Botrytis cinerea*. *Plant Science*, v. 283, p. 266-277, 2019. <https://doi.org/10.1101/475053>
- DAFLON, T. M.; HÜTHER, C. M.; SANTOS, C. M. P. P.; CARVALHO, L. F.; CORREA, N. P. C.; CORREIA, D. M.; PEREIRA, C. R.; MACHADO, T. B. Incrementos na produção de biomassa total de citronela por estresse severo no sistema radicular. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 51, p. 95-111, 2019. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190438>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000500003>
- ESTRADA-LUNA, A. A.; DAVIES JR., F. T. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. *Journal of Plant Physiology*, v. 160, n. 9, p. 1073-1083, 2003. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00989>
- ETEMADI, F.; HASHEMI, M.; BARKER, A. V.; ZANDVAKILI, O. R.; LIU, X. Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Horticultural Plant Journal*, v. 5, n. 4, p. 170-182, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.04.004>
- FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. Jasmonates: Mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 20, p. 101210, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101210>
- FARZADFAR, S.; ZARINKAMAR, F.; HOJATI, M. Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 112, p. 207-217, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.002>
- FEISTHER, V. A.; SCHERER FILHO, J.; HACKBARTH, F. V.; MAYER, D. A.; SOUZA, A. A. U.; SOUZA, S. M. A. G. U. Raw leaves and leaf residues from the extraction of essential oils as biosorbents for metal removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, n. 3, p. 103047, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103047>
- FONTES, P. C. R. Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo. *Horticultura Brasileira*, v. 32, n. 3, p. 247-253, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000300002>
- FREW, A. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity increases growth and phosphorus uptake in C3 and C4 crop plants. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 135, p. 248-250, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.015>
- GUPTA, P.; MISHRA, A.; YADAV, A.; DHAWAN, S. S. Inter and intra-specific molecular and chemical diversity of elite accessions of aromatic grasses Cymbopogons. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 11, p. 54-60, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.10.005>
- HAFAEEZ, A.; ALI, S.; MA, X.; TUNG, S. A.; SHAH, A. N.; LIU, A.; AHMED, S.; CHATTHA, M. S.; YANG, G. Potassium to nitrogen ratio favors photosynthesis in late-planted cotton at high planting density. *Industrial Crops and Products*, v. 124, p. 369-381, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.006>

- HARTZELL, S.; BARTLETT, M. S.; PORPORATO, A. Unified representation of the C3, C4, and CAM photosynthetic pathways with the Photo3 model. *Ecological Modelling*, v. 384, p. 173-187, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.012>
- HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J. A.; HOSSSEN, M. S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA; FUJITA, M. Potassium: A vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy*, v. 8, n. 3, p. 31, 2018. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- HENDRY, G., GRIME, J. *Methods in comparative plant. A laboratory manual*. Londres: Chapman & Hall, 1993. 252 p.
- HESSINI, K.; ISSAOUI, K.; FERCHICHI, S.; SAIF, T.; ABDELLY, C.; SIDDIQUE, H. M. K.; CRUZ, C. Interactive effects of salinity and nitrogen forms on plant growth, photosynthesis and osmotic adjustment in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 139, p. 171-178, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.005>
- HONG, S.; GAN, P.; CHEN, A. Environmental controls on soil pH in planted forest and its response to nitrogen deposition. *Environmental Research*, v. 172, p. 159-165, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.020>
- JORGE, M. F. *Tratamento e disposição final de águas residuárias de bovinocultura em solos sob manejo orgânico de produção de olerícolas*. 179f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. *Fertilidade de solos*. EMBRAPA,. 2009. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27333/1/Fertilidade-de-solos-Adubacao.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- LI, Y.; WANG, W.; WEI, K.; RUAN, L.; WANG, L.; CHENG, H.; ZHANG, F.; WU, L.; BAI, P. Differential transcriptomic changes in low-potassium sensitive and low-potassium tolerant tea plant (*Camellia sinensis*) genotypes under potassium deprivation. *Scientia Horticulturae*, v. 256, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108570>
- LIN, Z.; WANG, Y.; HUANG, W.; WANG, J.; CHEN, L.; ZHOU, J.; HE, Q. Single-stage denitrifying phosphorus removal biofilter utilizing intracellular carbon source for advanced nutrient removal and phosphorus recovery. *Bioresource Technology*, v.277, p. 27-36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.025>
- 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>
- LU, Z.; HU, W.; REN, T.; ZHU, C.; LI, X.; CONG, R.; GUO, S.; LU, J. Impact of K deficiency on leaves and siliques photosynthesis via metabolomics in Brassica napus. *Environmental and Experimental Botany*, v. 158, p. 89-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.008>
- LUCAS, R. E.; DAVIS, J. E. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science*, v. 92, n. 3, p. 177-182, 1961.
- LUO, J.; ZHOU, J-J. Growth performance, photosynthesis, and root characteristics are associated with nitrogen use efficiency in six poplar species. *Environmental and Experimental Botany*, v. 164, p. 40-51, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.04.013>
- MA, J.; ZHANG, M.; LIU, Z.; CHEN, H.; LI, Y. C.; SUN, Y.; MA, Q.; ZHAO, C. Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 254, p. 106-115, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.075>
- MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; NASCIMENTO, A. M.; DE PAULA, V. R.; OTENIO, M. H. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p151-171>

- MALEKI, M.; GHORBANPOUR, M.; KARIMAN, K. Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress. *Plant Gene*, v. 11, parte B, p. 247-254, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.006>
- MATOS, A. T. *Disposição de águas residuárias no solo*. Viçosa: AEAGRI, 2006. 142 p. (Caderno Didático, n. 38).
- _____. *Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos*. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 241 p.
- MENDONÇA, H. V.; OMETTO, J. P. H. B.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; OTENIO, M. H.; BORGES, C. A. V. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 9, n. 4, p. 973-987, 2016. <http://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n4p973-987>
- MOHOTTIGE, T. N. W.; CHENG, K. Y.; KAKSONEN, A. H.; SARUKKALIGE, R.; GINIGE, M. P. Influences of pH and organic carbon on oxalate removal by alkaliphilic biofilms acclimatized to nitrogen-deficient and supplemented conditions. *Journal of Cleaner Production*, v. 187, p. 699-707, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.153>
- NETSHILUVHI, T. R.; ELOFF, J. N. Temperature stress does not affect antimicrobial activity of some South African medicinal plants. *South African Journal of Botany*, v. 123, p. 93-97, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.019>
- NILOFER, A.; SINGH, A. K.; KUMAR, D.; KAUR, P.; KUMAR, A.; SINGH, A.; KHARE, P.; SANGWAN, N. S.; KALRA, A.; SINGH, S. A novel method for survival of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens* L.) mother plants under extreme climatic conditions. *Industrial Crops and Products*, v. 126, p. 227-237, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.014>
- NOMAN, A.; ALI, Q.; MAQSOOD, J.; IQBAL, N.; JAVED, M. T.; RASOOL, N.; NASEEM, J. Deciphering physio-biochemical, yield, and nutritional quality attributes of water-stressed radish (*Raphanus sativus* L.) plants grown from Zn-Lys primed seeds. *Chemosphere*, v. 195, p. 175-189, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.059>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.11.007>
- QIAO, Y.; YIN, L.; WANG, B.; KE, Q.; DENG, X.; WANG, S. Melatonin promotes plant growth by increasing nitrogen uptake and assimilation under nitrogen deficient condition in winter wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 139, p. 342-349, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.037>
- REZAEI, M.; RAZMJOO, J.; EHTEMAM, M. H.; KARIMMOJENI, H.; ZAHEDI, M. The interaction between shade and drought affects essential oil quantity and quality of *Vitex agnus-castus* L. leaves and seeds. *Industrial Crops and Products*, v. 137, p. 460-467, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.059>
- ROCA, L. F.; ROMERO, J.; BOHÓRQUEZ, J. M.; ALCÁNTARA, E.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; TRAPERO, A. Nitrogen status affects growth, chlorophyll content and infection by *Fusicladium oleagineum* in olive. *Crop Protection*, v. 109, p. 80-85, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.016>
- SALISBURY, A. B.; GALLAGHER, F. J.; CAPLAN, J. S.; GRABOSKY, J. C. Maintenance of photosynthesis by *Betula populifolia* in metal contaminated soils. *Science of the Total Environment*, v. 625, p. 1615-1627, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.279>
- SANGWAN, R. S.; ABAD FAROOQI, A. H.; BANSAL, R. P.; SINGH-SANGWAN, N. Interspecific Variation in Physiological and Metabolic Responses of five Species of *Cymbopogon* to Water Stress. *Journal of Plant Physiology*, v. 142, n. 5, p. 618-622, 1993. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80408-6](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80408-6)
- SANTOS, E. F.; SANTINI, J. M. K.; PAIXÃO, A. P.; FURLANI JÚNIOR, E.; LAVRES, J.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 113, p. 6-19, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022>

- SCHERER, R.; WAGNER, R.; DUARTE, M. C. T.; GODOY, H. T. Composição e atividades antioxidante e antimicrobiana dos óleos essenciais de cravo-da-índia, citronela e palmarosa. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 11, n. 4, p. 442-449, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722009000400013>
- SCHWAMMBERGER, P. F.; LUCKE, T.; WALKER, C.; TRUEMAN, S. J. Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development. *Science of the Total Environment*, v. 677, p. 390-403, 2019. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.341>
- SHABANAMOL, S.; DIVYA, K.; GEORGE, T. K.; RISHAD, K. S.; SREKUMAR, T. S.; JISHA, M. S. Characterization and in plant nitrogen fixation of plant growth promoting endophytic diazotrophic *Lysinibacillus sphaericus* isolated from rice (*Oryza sativa*). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 102, p. 46-54, 2018. <https://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.003>
- SILVA, J. B. G. *Uso de água residuária de bovinocultura de leite no cultivo da figueira (Ficus carica L.): efeitos no solo e na cultura*. 86f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- SILVA-SÁNCHEZ, A.; SOARES, M.; ROUSK, J. Testing the dependence of microbial growth and carbon use efficiency on nitrogen availability, pH, and organic matter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 134, p. 25-35, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.008>
- SIVASHANMUGAM, M.; PAULSAMY, S.; SENTHILKUMAR, P. Energy dynamics in the C4 species dominated montane subtropical grassland at Nilgiri Biosphere Reserve, the Western Ghats, India *Acta Ecologica Sinica*, v. 29, n. 4, p. 254-259, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2009.08.009>
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). Comissão de Química e Fertilidade do Solo. *Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.
- STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: MATHIS, P. (org.). *Photosynthesis: from light to biosphere. Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress*, Montpellier, 1995. v. 5. p. 977-980.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- 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>
- TEIXEIRA, F. O. P. *Efeito da Disposição de Efluentes da Bovinocultura no Solo e na Biomassa Vegetal*. 75f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, v. 185, p. 113-121, 2019. <https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>
- TRONGTOKIT, Y.; RONGSRIYAM, Y.; KOMALAMISRA, N.; APIWATHNASORN, C. Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites. *Phytotherapy Research*, v. 19, n. 4, p. 303-309, 2005. <https://doi.org/10.1002/ptr.1637>
- TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants' vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: VARMA, A. (org.). *Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic*. Uttar Pradesh: Springer, 2008. p. 679-703.

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. 5, 2014. <http://dx.doi.org/10.4102/jsava.v85i1.992>

WU, Y.-W.; LI, Q.; JIN, R.; CHEN, W.; LIU, X.-L.; KONG, F.-L.; KE, Y.-P.; SHI, H.-C.; YUAN, J.-C. Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 18, n. 6, p. 1246-1256, 2019. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62030-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62030-1)

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE, SARIN N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1797, n. 8, p. 1428-1438, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.02.002>

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. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.09.035>

