

Planaltina, DF / Fevereiro, 2024



Monitoramento das variáveis ambientais em café cultivado com e sem braquiária no Planalto Central Brasileiro

Alexsandra Duarte de Oliveira⁽¹⁾, Arminda Moreira de Carvalho⁽¹⁾, Thais Rodrigues de Sousa⁽²⁾, Marcos Vinicius Araújo dos Santos⁽²⁾, Ana Caroline Pereira da Fonseca⁽²⁾, Douglas Rodrigues de Jesus⁽²⁾, Fabiana Piontekowski Ribeiro⁽²⁾, Francisco Marcos do Santos Delvico⁽³⁾, Juaci Vitória Malaquias⁽³⁾ e Adriano Delly Veiga⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores(as), Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽²⁾ Estagiários(as), Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽³⁾ Analistas, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Resumo – O café é uma cultura que demanda elevadas quantidades de nitrogênio (N), variando de 600 a 450 kg ha⁻¹ ao ano no solo, o que pode levar à liberação de gases de efeito estufa (GEE), e a presença de variações do N mineral no solo. O objetivo do estudo foi quantificar os teores de N, nas formas nítrica (NO₃⁻) e amoniacal (NH₄⁺), monitorar a umidade do solo com base no espaço poroso preenchido por água (EPPA), temperatura do solo e fluxo acumulado de óxido nitroso (N₂O) no solo em função do manejo na cultura do café (sequeiro e irrigado), com e sem a presença de braquiária. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Os tratamentos foram: sequeiro com braquiária (SCB); sequeiro sem braquiária (SSB); irrigado com braquiária (ICB) e irrigado sem braquiária (ISB). Para avaliação dos fluxos de N₂O do solo, foi utilizado o método de câmaras estáticas; já a determinação do N mineral do solo nas formas de NO₃⁻ e NH₄⁺ foi realizada em análise por colorimetria. Os fluxos de N₂O acumulados não variaram em função do manejo. Os teores de N mineral que coincidiram com picos de fluxos diários de N₂O (dados não mostrados) foram superiores a 11 mg kg⁻¹ no solo, com predominância do NO₃⁻, para os tratamentos irrigados. Sendo assim, a combinação de água no solo representado pelo EPPA acima de 54% e o N mineral predominantemente na forma de NO₃⁻ contribuíram para os maiores fluxos diários de N₂O (107,65 µg m⁻² h⁻¹), nos tratamentos com irrigação.

Termos para indexação: óxido nitroso, nitrato, amônio, braquiária, irrigação.

Monitoring environmental variables in coffee grown with and without brachiaria in Brazilian Central Plateau

Abstract – Coffee is a crop that demands high amounts of nitrogen (N), ranging from 600 to 450 kg ha⁻¹ year) in the soil, which can lead to the release of greenhouse gases (GHG), and variations in N-mineral in soil. The objective of the study was to quantify N content, in nitric (NO₃⁻) and ammoniacal (NH₄⁺) forms, monitor soil moisture based on water-filled pore space

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília /
Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/
sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Lineu Neiva Rodrigues

Secretário-executivo

Gustavo José Braga

Membros

Alessandra Silva Gelape Faleiro,

Edson Eyji Sano, Fábio Gelape

Faleiro, Jussara Flores de Oliveira

Arbues, Kleberon Worsley

Souza e Ranyse Barbosa Quirino

da Silva

Edição executiva e

revisão de texto

Jussara Flores O. Arbues

Normalização bibliográfica

Antonia Veras de Souza

(CRB-1/2023)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Jussara Flores O. Arbues

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

(WFPS), soil temperature and accumulated nitrous oxide flux (N_2O) in the soil due to management in coffee cultivation (rainfed and irrigated), with and without the presence of brachiaria. The study was conducted at Embrapa Cerrados. The treatments were: rainfed with brachiaria (RWB); dryland without brachiaria (RWTB); irrigated with brachiaria (IWB) and irrigated without brachiaria (IWTB). To evaluate soil N_2O fluxes, the static chamber method was used, while the determination of soil mineral N in the forms of NO_3^- and NH_4^+ was carried out by colorimetric analysis. Accumulated N_2O fluxes did not vary depending on management. The mineral N contents that coincided with peak daily N_2O fluxes (data not shown) were higher than 11 mg kg^{-1} soil, with NO_3^- predominating, for the irrigated treatments. Therefore, the combination of water in the soil represented by EPPA above 54% and mineral N predominantly in the form of NO_3^- contributed to the highest daily fluxes of N_2O ($107.65 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), in treatments with irrigation.

Index terms: nitrous oxide, nitrate, ammonium, brachiaria, irrigation.

Introdução

O Brasil é o maior exportador de café (*Coffea* sp.) no mercado mundial e ocupa a segunda posição entre os países consumidores da bebida. A área destinada ao cultivo na safra de 2023 foi de 1.873,2 ha, sendo 1.480,6 ha referentes ao café arábica (Conab, 2023). Segundo dados da Conab (2023), o Brasil teve uma produção total de 37.929,2 sacas de café (arábica e conilon). A produção do ano de 2023 teve um aumento de cerca de 15,9% em relação à safra anterior.

O café está entre as mais importantes commodities agrícolas do Brasil, apresentando grande potencial de expansão em áreas irrigadas no Cerrado, com destaque para suas altas produtividades nessas condições. A cafeicultura, que primeiramente ganhou espaço em áreas de melhor fertilidade, estendeu-se depois aos solos do Cerrado, os quais apresentam adequadas propriedades físico-hídricas para o desenvolvimento da cultura, mas com baixa fertilidade. Assim, para o ótimo desenvolvimento e os altos rendimentos dessa cultura, são necessárias correções de solo e adubações constantes, com altas quantidades de fertilizantes aplicadas (Soares, 2016). O Cerrado tem se tornado região de destaque na cafeicultura com essa adubação e correção do solo (Lopes; Guilherme, 2016), com potencial de expansão em áreas irrigadas, especialmente

quando utilizadas tecnologias como irrigação e tratamentos culturais mecanizados (Fernandes et al., 2012).

A cultura do café, em condições de Cerrado, requer uma grande quantidade de fertilizantes nitrogenados. Segundo Andrade (2004), no cenário de alta produtividade em cafeeiros (acima de 80 sacas por hectare), a demanda por nitrogênio (N), em função de análise foliar prévia, pode chegar a 400 kg ha^{-1} de N sintético. Nesse contexto, pode-se presumir que as reações no solo oriundas dessa fertilização podem favorecer a formação de N_2O , dependendo do conteúdo de N mineral, umidade e temperatura do solo, e especialmente pelo estímulo da nitrificação microbiana (Santos et al., 2016; Wu et al., 2021; Baral et al., 2022). Além das variáveis ambientais, as práticas agrícolas na cultura do café também colaboram com as emissões de gases de efeito estufa (GEE), como a queima de combustíveis fósseis pelo maquinário agrícola e a queima de madeira oriunda da poda do cafeeiro, utilizada subsequentemente para a secagem do café (Oliveira Junior et al., 2020). Porém, ainda não há trabalhos com essas referências na cultura do café no Cerrado de forma consolidada.

Os principais gases emitidos pela agricultura são dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), sendo a fertilização nitrogenada o principal contribuinte para a emissão de N_2O . Portanto, culturas que apresentam uma grande demanda de N são grandes emissoras de GEEs, pois parte do N que é aplicado no solo retorna para a atmosfera como N_2O , como na cafeicultura, onde se aplicam altas doses de fertilizantes nitrogenados (Cerri et al., 2013). Segundo Bustamante et al. (2014), particular atenção deve ser dada às emissões de N_2O , devido ao seu alto potencial de aquecimento global (PAG), que é até 310 vezes superior ao PAG do CO_2 em uma escala de 100 anos de permanência na atmosfera, ou seja, uma atividade com emissão de 1 kg ha^{-1} de N_2O corresponde a 310 kg ha^{-1} de CO_2 .

Para o café, Oliveira Junior et al. (2015) verificaram que o uso de corretivos e fertilizantes nitrogenados nessa cultura contribuiu para as emissões de GEEs, da ordem de 78,37% do total de emissões verificadas. O total de emissões, desconsiderando as relativas à queima de lenha, foi de 984,14 t de CO_2 equivalente, que, quando dividido pela área total (462,94 ha) de cafeeiro plantado nas diferentes localidades, corresponderam à emissão de 2,13 t de CO_2 equivalente por hectare. Belzário (2013), em trabalho semelhante, obteve como resultado 2,91 t de CO_2 equivalente por hectare. Os resultados de Silva et al. (2013) relataram que uma lavoura de café com 4 anos de idade é capaz de sequestrar da atmosfera, por ano, 8,45 t de CO_2 equivalente por

hectare, a partir de processos fotossintéticos, valor que também deve ser levado em conta em estudos de emissões de GEEs, bem como em processos de certificação de produção (Brandão et al., 2012).

Adicionalmente, o uso da braquiária como planta de cobertura na cafeicultura é uma alternativa que contribui para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo, por conta da decomposição de resíduos vegetais, disponibilizando nutrientes, principalmente N, para o sistema (Gonçalves et al., 2019). Novos estudos sobre a utilização do café consorciado com a braquiária têm sido feitos para avaliar sua contribuição na mitigação de GEEs, porém são estudos em fases iniciais e que requerem um tempo maior para quantificar, avaliar e consolidar os resultados obtidos.

O consórcio da braquiária (*Urochloa* sp.) com culturas anuais, perenes e semiperenes é uma prática que vem sendo bastante adotada por agricultores devido aos inúmeros benefícios. A braquiária foi introduzida no Centro-Oeste durante a década de 1960 e logo conquistou espaço na pecuária nacional, devido a sua robustez e a sua resistência a solos ácidos e déficit hídrico, sendo a “substituta” das pastagens nativas do Cerrado, que, apesar de terem tido sua importância, eram forragens de baixa qualidade, pouco valor nutricional e pequena capacidade de suporte (Kluthcouski et al., 2013).

Pesquisa realizada na Embrapa Cerrados sobre a decomposição de braquiária em consórcio com café mostrou que a irrigação acelera esse processo e a liberação de N (Gonçalves et al., 2019), conseqüentemente, impactando as emissões de N_2O . Essas medições geram dados primários que são inexistentes na cafeicultura irrigada no Cerrado, principalmente em sistemas de consórcio com braquiária decumbens (*Urochloa decumbens*). Este consórcio tem sido cada vez mais utilizado, e sua adoção pode aumentar a eficiência de uso de N e diminuir suas perdas e, conseqüentemente, reduzir emissões de N_2O , devido à liberação gradual do N contido na palhada da braquiária. Além disso, contribui para incrementar estoques de carbono (C) no solo e favorecer atributos químicos e físico-hídricos relacionados à disponibilidade de água para o cafeeiro (Rocha et al., 2016).

Considerando que as emissões de GEEs representam perdas da matéria orgânica e de fertilizantes, torna-se necessário monitorar os fluxos de GEEs, principalmente N_2O do solo sob irrigação. Deste modo, a partir dos resultados gerados, medidas que façam uma junção entre ganhos de produtividade, conservação e prestação de serviços ambientais em relação às mudanças climáticas globais podem ser adotadas.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a fim de mitigar a emissão dos GEEs na agricultura, porém, na cafeicultura, os trabalhos e dados coletados ainda são relativamente escassos, o que requer novas pesquisas sobre o assunto, principalmente dos fluxos de N_2O e a dinâmica do N mineral no solo. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi quantificar os teores de N, nas formas nítrica (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+), monitorar a umidade do solo com base no espaço poroso preenchido por água (EPPA), temperatura do solo e fluxo acumulado de N_2O no solo em função do manejo na cultura do café (sequeiro e irrigado), com e sem a presença de braquiária.

Esta publicação contribui para a criação de referências e para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contidos na Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas, que é um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima. Essas ações encontram-se na agenda da Embrapa para que sejam atingidas. Assim, o trabalho contribui no ODS 13 – Ação Climática – no que se refere à resiliência e à capacidade de mitigar/adaptar sistemas agrícolas ao contexto das mudanças climáticas na agricultura.

Material e métodos

Manejo da área experimental

O estudo foi conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina, Distrito Federal, Brasil ($15^{\circ}35'30''$ S, $47^{\circ}42'30''$ W e 1.050 m). O clima da região é estacional e corresponde ao tipo Aw-tropical chuvoso (Köppen), com dois períodos bem definidos e presença de verões chuvosos, de outubro a março, e invernos secos, de abril a setembro. A precipitação pluviométrica média anual (1974–2003) foi de 1.346 mm, com temperatura média do ar entre 16,5 e 27,7 °C e umidade relativa do ar entre 37,6% e 97,7% (Silva et al., 2014). A área experimental está sobre um Latossolo Vermelho distrófico, de textura muito argilosa.

Antes do início do experimento, a análise química do solo (camada de 0–20 cm) apresentou os seguintes resultados: pH em água 5,2, Al^{3+} ($4,3 \text{ mmolc dm}^{-3}$), Ca^{2+} ($22,9 \text{ mmolc dm}^{-3}$), Mg^{2+} ($8,3 \text{ mmolc dm}^{-3}$), H+Al ($76,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$), P ($1,4 \text{ mg dm}^{-3}$); K ($61,2 \text{ mg dm}^{-3}$), com saturação de alumínio (12%). Quanto à análise granulométrica, os níveis médios de argila, silte, areia fina e grossa foram 601, 116, 47 e 236 $g \text{ kg}^{-1}$, respectivamente.

A área experimental foi inicialmente conduzida com *Urochloa decumbens* sem pastejo de janeiro de 2000 a dezembro de 2007, momento em que foi plantado o café, cultivar Catuaí vermelho 144, em espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,7 m entre plantas. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições, e as parcelas constituídas de três linhas de 9 plantas. Em uma área irrigada com pivô central, os experimentos foram avaliados até o ano de 2016, e posteriormente, após a colheita, foram renovados.

Os tratamentos consistiram em dois regimes hídricos: regime irrigado e sequeiro, sob manejo com e sem braquiária nas entrelinhas do cafeeiro. As roçagens foram realizadas no momento em que a planta alcançou 0,60 m de altura, mantendo os restos culturais na área. Foram avaliados os níveis de água com irrigação plena e de sequeiro, e a quantidade de N adicionada ao sistema por meio das fertilizações anuais. Os tratamentos foram definidos assim: sequeiro com braquiária (SCB); sequeiro sem braquiária (SSB); irrigado com braquiária (ICB) e irrigado sem braquiária (ISB).

O critério de manejo de irrigação fundamentou-se no monitoramento do conteúdo de água do solo, sendo que o momento de irrigação ocorria sempre que a umidade, na profundidade de 0,10 m, correspondia ao consumo de 50% da água disponível, segundo a metodologia de Rocha et al. (2008). O monitoramento do conteúdo de água foi realizado com auxílio de sonda de umidade ML1 (Delta-T Devices).

Foram realizadas quatro adubações no café, nas seguintes datas: 23 de setembro de 2019, 2 de dezembro de 2019, 6 de janeiro de 2020 e 3 de março de 2020. Com as seguintes recomendações:

- 400 kg ha⁻¹ de N – (setembro, dezembro, janeiro e março); a fonte de N foi ureia.
- 400 kg ha⁻¹ de K – (setembro, dezembro, janeiro e março); a fonte de K foi cloreto de potássio.
- 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ – 2/3 em setembro = 120 g por planta e 1/3 em novembro = 60 g por planta e 100 kg ha⁻¹ de FTE (BR 12) – 25 g por planta em setembro e dezembro.

Emissão de óxido nitroso como efeito da prática de fertilização e período avaliado

O método utilizado para coletas de GEEs foi de câmaras estáticas, conforme protocolo apresentado em Zanatta et al. (2014), para avaliação dos fluxos de N₂O do solo. Foram utilizadas 12 câmaras por tratamento, onde cada câmara estática era formada por uma base metálica (0,38 x 0,58 m) inserida no solo e uma parte superior de PVC, revestida por uma manta térmica de alumínio, que juntamente com a base metálica veda o espaço delimitado pela câmara, formando um microambiente, onde os gases se acumulam, para posterior coleta e determinação (Figura 1A).

Nas câmaras, foram feitos orifícios centrais vedados com silicone, onde foi inserida uma mangueira de borracha conectada a uma válvula de três vias para controle da saída de gases. Em uma das câmaras também foi acoplado um termômetro digital para monitoramento da temperatura do ar, dentro das câmaras. Outro termômetro digital foi inserido no solo para determinação da temperatura do solo a 5 cm de profundidade, nos tempos determinados para coletas de gases (T0, T15 e T30, após fechamento das câmaras). As amostragens de gases foram realizadas entre 9h e 11h, seguindo metodologia apresentada em Alves et al. (2012).

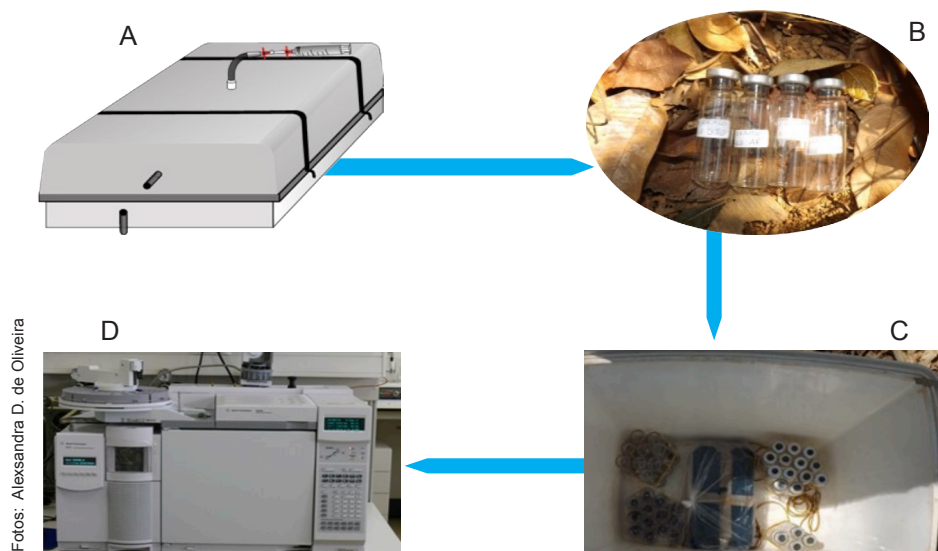


Figura 1. Esquema de coleta de gases, câmara estática (A), vials (B), caixa térmica (C) e cromatógrafo (D).

Ilustração: Wellington Cavalcanti

Foram utilizadas seringas de polipropileno de 60 mL, com válvula de três vias acoplada, nas quais foram coletados 30 mL de amostra dos gases e transferidas para vials pré-evacuados (Figura 1B). O padrão do ar atmosférico foi coletado em cada parcela, com o objetivo de referenciar o padrão de ar atmosférico. Os vials foram transportados em caixas térmicas com gelo (Figura 1C) e, posteriormente armazenados em ambiente refrigerado a 18 °C, para posterior leitura.

As análises das concentrações de N₂O foram realizadas por cromatografia gasosa (Figura 1D) no Laboratório de Cromatografia Gasosa da Embrapa Cerrados. Os fluxos foram medidos pela variação linear da concentração de gás em relação ao tempo de incubação nas câmaras de amostragem e calculado pela Equação 1, tal como proposto por Bayer et al. (2015):

$$\text{Fluxo} = \delta C / \delta t (V/A) \text{ m/Vm} \quad (1)$$

em que:

O fluxo ($\delta g \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); $\delta C / \delta t$ = mudança de concentração do gás (nmol N₂O) na câmara no intervalo de incubação (h).

V e A = o volume da câmara (L) e a área de solo coberta pela câmara (m²).

m = peso molecular de N₂O e CH₄ (δg).

Vm = volume molar na temperatura de amostragem (L).

Os fluxos foram calculados individualmente para os tempos 0, 15 e 30 minutos, obtidos em $\mu g \text{ N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Os fluxos médios diários de N₂O foram obtidos pelo valor médio das quatro câmaras instaladas em cada parcela e determinados por regressão linear da concentração do gás em função do tempo de amostragem (Oliveira et al., 2021; 2023a).

A temperatura do solo foi determinada por termômetros digitais nos momentos de coletas dos gases. Nas parcelas, também foram realizadas determinações da densidade do solo e de partículas, pelo método do anel volumétrico e balão volumétrico, respectivamente (Claesse, 1997). A umidade gravimétrica do solo foi calculada pela secagem de uma subamostra de solo em estufa a 105 °C por 48 horas. Com base nos resultados de umidade do solo, densidade aparente e de partículas do solo foi calculado o espaço poroso preenchido por água em porcentagem (EPPA) de cada avaliação, para determinar o nível de anoxia na camada 0–5 cm de profundidade, pela Equação 2, descrita por Paul e Clark (1996):

$$\text{EPPA} = (\theta \times Da \times 100) / [1 - (Da/Dp)] \quad (2)$$

em que:

θ = umidade gravimétrica do solo (g⁻¹).

Da = densidade aparente do solo (g cm⁻³).

Dp = densidade de partículas do solo (2,65 g cm⁻³).

Determinação do nitrogênio mineral do solo

Foram coletadas amostras de solo para determinação de NO₃⁻ e NH₄⁺, na profundidade de 0–10 cm, em oito pontos das linhas-entrelinhas de forma sistematizada, formando uma amostra composta. De cada amostra de solo foi retirada uma alíquota para determinação da umidade do solo. A determinação do N mineral do solo nas formas de NO₃⁻ e NH₄⁺ foi realizada com a extração em 50 mL de KCL 2 mol L⁻¹, segundo o método proposto por Bremmer e Mulvaney (1982), procedendo-se a análise por colorimetria no equipamento Lachat Quikchem FIA QC8500, série 2, (Oliveira et al., 2023a) (Figura 2).



Fotos: Alessandra D. de Oliveira

Figura 2. Detalhe da coleta de solo, acondicionamento, cloreto de potássio (KCL), amostras em decantação e leitura no equipamento Lachat Quikchem FIA QC8500.

Análises estatísticas

Os dados de N_2O acumulado, NO_3^- , NH_4^+ , temperatura do solo e EPPA foram submetidos à análise de variância (Anova) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5%. As emissões acumuladas foram estimadas plotando-se os valores diários dos fluxos de N_2O e a escala de tempo em um gráfico e calculando-se a área resultante sob a curva, por integração.

Resultados e discussão

Os maiores fluxos diários observados, em média, ocorreram no sétimo dia após fertilização (30/9/2019), com os maiores valores para os tratamentos irrigados (ICB 107,65 $\mu g m^{-2} h^{-1}$ e ISB 103,56 $\mu g m^{-2} h^{-1}$) e os de sequeiro (SCB 82,24 $\mu g m^{-2} h^{-1}$) e (SSB 73,34 $\mu g m^{-2} h^{-1}$). Simultaneamente, o EPPA era de 44% para os tratamentos de sequeiro e acima de 54% para os tratamentos irrigados (Figura 3A) (Oliveira et al., 2023). Em relação à temperatura do solo, foram observadas temperaturas acima de 22,6 °C, para os tratamentos avaliados (Figura 3B). Nessa condição, os teores de N mineral, nesse dia, foram superiores a 11 mg kg^{-1} solo, com predominância do NO_3^- , para os tratamentos irrigados (Figura 4). Portanto, a combinação de água no solo representado pelo EPPA acima de 54% e o N mineral podem contribuir para os maiores fluxos de N_2O nos tratamentos com irrigação. Liu et al. (2017) observaram ainda que solos mais argilosos tendem a apresentar maiores emissões de N_2O com espaço poroso preenchido por água (EPPA) acima de 75%, contribuindo para a desnitrificação, enquanto a nitrificação prevalece mais em solos com o EPPA abaixo de 60% (Liu et al., 2017).

A adubação nitrogenada é um dos fatores que mais contribui para emissão N_2O (Santos et al., 2016; Oliveira et al., 2023a), visto que a maioria dos fertilizantes nitrogenados são solúveis em água, como a ureia, propiciando liberação de NO_3^- e NH_4^+ no solo, formas disponíveis às plantas e susceptíveis aos processos de nitrificação e desnitrificação. Ao estudar fontes de N, Belizário (2013) verificou perdas de 0,27 $kg ha^{-1}$ de ureia para cada aplicação de N no café. De maneira geral, fertilizantes amoniacais podem diminuir as emissões de N_2O quando comparados aos fertilizantes nítricos, cujo processo de desnitrificação é o principal de formação de N_2O (Mosier, 2001; Signor, 2010).

Os valores de N_2O acumulado em relação ao período que compreende à fertilização (24/9/2019 a 2/10/2019) se diferenciaram em relação aos tratamentos com maior acumulado de 0,131 $kg ha^{-1}$ para o tratamento ICB, enquanto os demais não diferiram estatisticamente. Em relação ao acumulado de N_2O para o período de setembro/2019 a janeiro/2020, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 1) (Oliveira et al., 2023). No tratamento irrigado, o maior acumulado de N_2O , no período de fertilização e com presença de braquiária na entrelinha, pode sugerir que a combinação dessas práticas com o efeito do manejo de cortes da braquiária promovendo a decomposição dos resíduos vegetais pode disponibilizar mais N (Gonçalves et al., 2019) para o processo de mineralização de N e formação de N_2O no solo.

Foram determinados o EPPA e a temperatura do solo, simultaneamente a coleta de óxido nitroso e avaliação do N mineral no solo. Na Figura 3A, observa-se a distribuição do EPPA, onde cerca de 50% dos valores apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), e cujos valores variaram de 20% no SCB a 61% para o ICB. Nos períodos de fertilização, os valores encontravam-se acima de 50% para os tratamentos irrigados (Figura 3A). Para temperatura do solo, apenas 7% dos valores apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, que variou de 22 a 26 °C (Figura 3B). Não existem trabalhos na literatura sobre essas variáveis na cultura do café, o que mostra a necessidade de avanços nas pesquisas. Porém, é de conhecimento que valores de EPPA, N-mineral e temperatura do solo são fatores chave para emissão de N_2O , por propiciar condições que favoreçam os processos de nitrificação e desnitrificação, mediados por bactérias (Dijkstra et al., 2013; Ball et al., 2014; Bayer et al., 2015; Santos et al., 2016; Oliveira et al., 2023a).

Os valores observados de N-mineral (NO_3^- e NH_4^+) encontram-se na Figura 4. Dos resultados avaliados, 17% e 21% do período (11/9/2019 a 13/3/2020), diferiram estatisticamente para NH_4^+ e NO_3^- , respectivamente. Para o NO_3^- , os maiores teores foram observados nos tratamentos de sequeiro (SCB e SSB), nos meses de setembro, outubro e novembro, com teor máximo de 40,39 $mg kg^{-1}$ para SSB (Figura 4A). O maior teor de NH_4^+ (119,57 $mg kg^{-1}$) foi observado 2 dias após a primeira adubação (23/9/2019) (Figura 4B). Em geral, a forma amoniacal foi predominante.

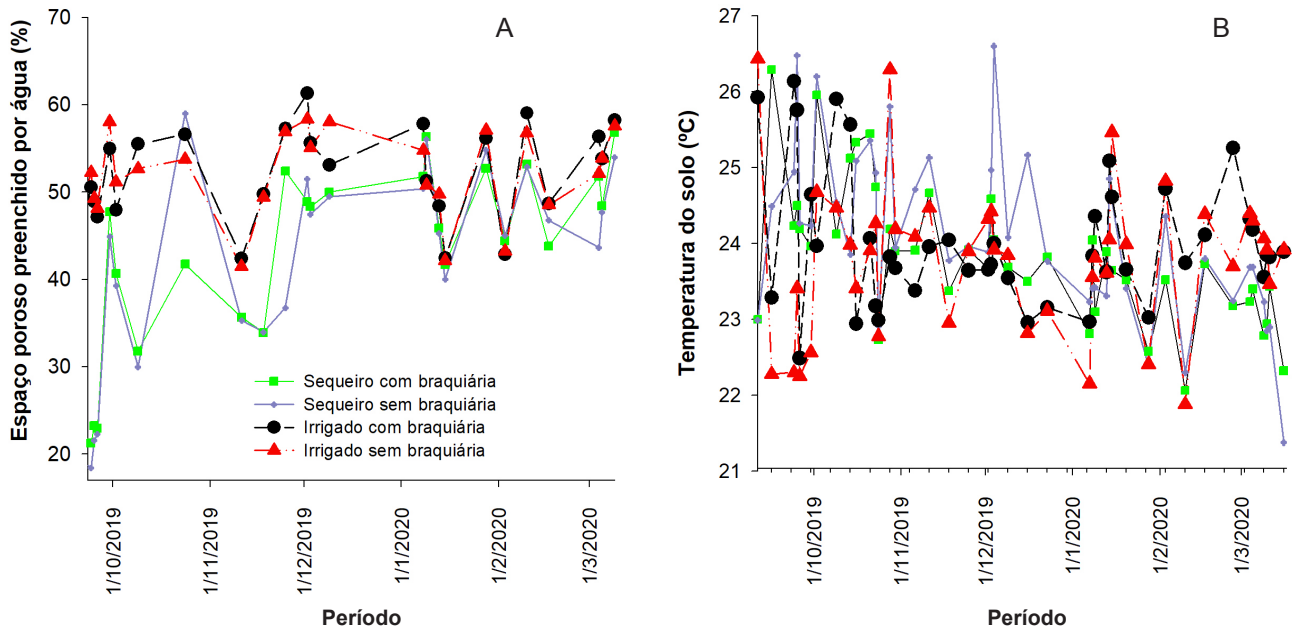


Figura 3. Espaço poroso preenchido por água (EPPA) (A) e temperatura do solo (°C) (B) nos tratamentos SCB, SSB, ICB e ISB, para o período de setembro de 2019 a março de 2020, na cultura do café.

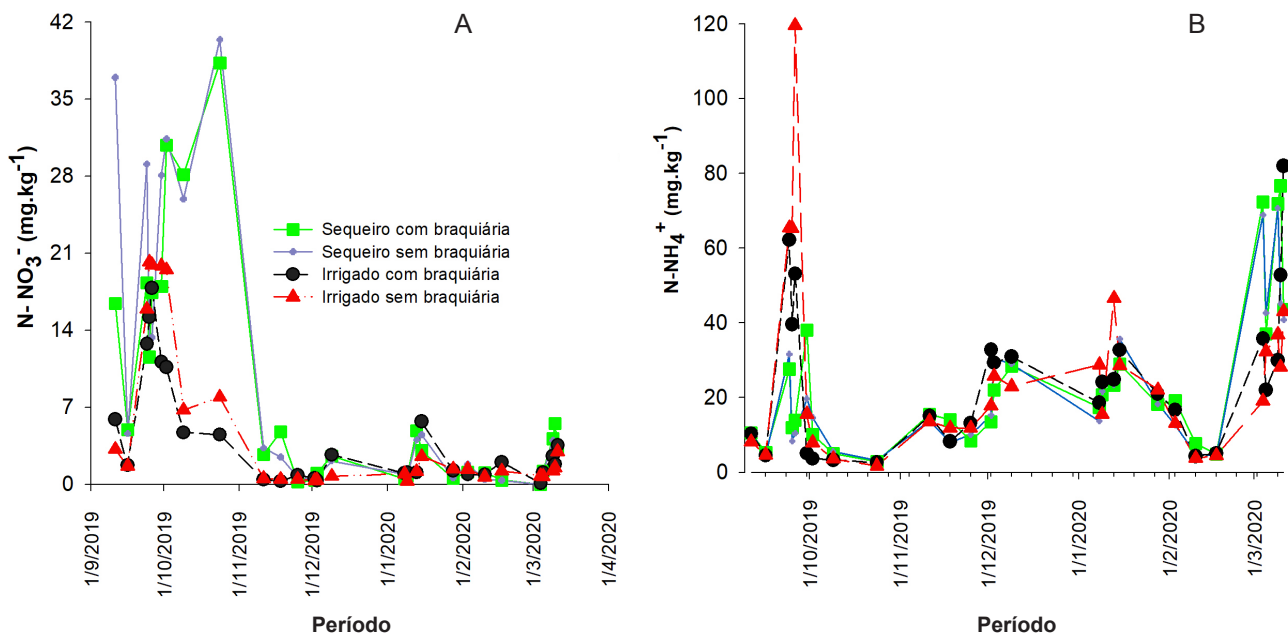


Figura 4. Espaço poroso preenchido por água (EPPA) (A) e temperatura do solo (°C) (B) nos tratamentos SCB, SSB, ICB e ISB, para o período de setembro de 2019 a março de 2020, na cultura do café.

Tabela 1. Emissão acumulada de óxido nitroso (N₂O) em função da primeira fertilização (24/9/2019 a 2/10/2019) e em todo o período de avaliação (11/9/2019 a 14/1/2020) na cultura do café, em quilograma por hectare, para os tratamentos sequeiro com braquiária (SCB); sequeiro sem braquiária (SSB); irrigado com braquiária (ICB) e irrigado sem braquiária (ISB).

Período/Tratamento	Irrigado com braquiária	Irrigado sem braquiária	Sequeiro com braquiária	Sequeiro sem braquiária
Acumulado adubação	0,131 a	0,087 b	0,063 b	0,059 b
Acumulado total	8,557 b	6,076 b	5,346 b	5,648 b

Letras diferentes na linha diferem entre os tratamentos (p <0,05).
 Fonte: Oliveira et al., (2023b).

Relações entre as variáveis ambientais com os diferentes manejos

A análise de componentes principais (ACP) foi gerada para se observar a distinção dos tratamentos com diferentes manejos e a distribuição das variáveis N_2O e edafoclimáticas (NO_3^- , NH_4^+ , EPPA, TC_Solo e TC_Câmara). A distribuição das variáveis selecionadas apresentou variância acumulada de 50,71% para a soma dos componentes: PC1 (27,42%) e PC2 (22,79%). No período avaliado, o primeiro componente principal (PC1) teve a maior correlação com EPPA (0,705), Amônio (0,681), TC_Câmara (-0,553), e N_2O (0,516), enquanto a PC2 apresentou a melhor correlação positiva com o fluxo de N_2O , de 0,638. Nesse contexto, dois grupos de correlações foram formados, um grupo compreendeu as temperaturas de solo e câmara (referente a PC1) e o outro grupo, na PC2, entre a emissão de N_2O e a temperatura do solo (Figura 5).

Em uma análise combinada dos sistemas de manejo e todas as variáveis, observou-se que não houve uma distinção clara dos diferentes manejos (Figura 5). Em relação às variáveis, sugere-se que os irrigados (ICB e ISB) encontram-se mais relacionados com a emissão de N_2O , temperaturas da câmara e solo, amônio e umidade do solo, aqui representada pelo EPPA. Enquanto os tratamentos de sequeiro (SCB e SSB), além das variáveis listadas, incluem o nitrato. Mostrando que o manejo hídrico pode propiciar mudanças em relação a forma de N-mineral, o que pode ser justificado por se utilizar ureia como fonte de fertilização nitrogenada.

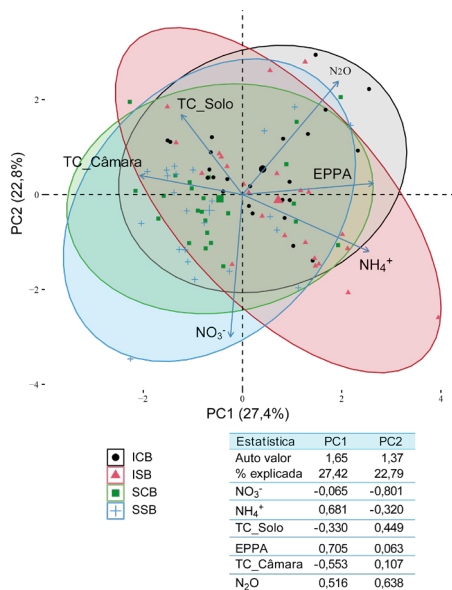


Figura 5. Análise de componentes principais (ACP) para os fluxos de N_2O do solo e variáveis edafoclimáticas: nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), espaço poroso preenchido por água (EPPA), temperatura do solo (TC_SOLO) e temperatura da câmara (TC_CAMARA) sob cultivo de café, para o período de setembro de 2019 a março de 2020.

Conclusões

- 1) O café cultivado, com e sem braquiária na entrelinha, em termos médios, proporcionou teores de N mineral superiores a 28 mg kg^{-1} ao solo, na camada de 0–10 cm. A forma predominante encontrada foi o amônio.
- 2) As variáveis ambientais não foram limitantes ao crescimento da cultura. Existe efeito de prática agrônômica (fertilização nitrogenada) no fluxo acumulado de N_2O quando associado à irrigação e à presença de braquiária.
- 3) O aprimoramento de práticas pode influenciar as emissões de N_2O , para isso, existe a necessidade de continuidade dos estudos, dada a complexidade do sistema do café irrigado ou sequeiro com a presença da braquiária nas entrelinhas.

Referências

- ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N_2O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 129-136, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>.
- BALL, B. C.; GRIFFITHS, B. S.; TOPP, C. F. E.; WHEATLEY, R.; WALKER, R. L.; REES, R. M.; WATSON, C. A.; GORDON, H.; HALLET, P. D.; MCKENZIE, B. M.; NEVISON, I. M. Seasonal nitrous oxide emissions from field soils under reduced tillage, compost application or organic farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 189, p. 171-180, 2014.
- BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; PICCOLO, M. C.; DIECKOW, J.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 213-222, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.011>.
- BARAL, K. R.; JAYASUNDARA, S.; BROWN, S. E. Long-term variability in N_2O emissions and emission factors for maize and soybeans induced by weather and management at a cold climate site. **Science of the Total Environment**, v. 815, n. 1, 2022. 152744. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021>.
- BELIZÁRIO, M. H. **Estoque de carbono do solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo do café**. Tese 2013. 143 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

- BRANDÃO, F. S.; CEOLIN, A. C.; RUVIARO, C. F.; GIANEZINI, M.; DIAS, E. A. O papel do agronegócio brasileiro na redução dos gases de efeito estufa. **Revista Agroambiental**, v. 6, n. 1, p. 84-90, jan./fev. 2012.
- BREMMER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L. **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 595-624.
- BUSTAMANTE, M. M.; MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P.; DO CARMO, J. B.; JARAMILLO, V.; GAVITO, M. E.; MARQUINA, S. Innovations for a sustainable future: rising to the challenge of nitrogen greenhouse gas management in Latin America. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 73-81, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.09.002>.
- CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D. de; MARRIEL, I. E.; GONTIJO NETO, M. M.; MALAQUIAS, J. V.; LANDAU, E. C.; CARVALHO, A. M. de. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 692, n. 20, p.1165-1174, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>.
- CERRI, C. C.; RAUCCI, G. S.; MOREIRA, C. S.; FRAZÃO, L. A. Como mitigar emissão de gases pela adubação na cafeicultura. **Visão Agrícola**, n. 12, p. 82-84, jan./jul. 2013. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va12-fertilidade-e-nutricao04.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.
- CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804>. Acesso em: 26 mar. 2024.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Safra 2023. Brasília, DF, v. 10, n. 1, p. 1-41, jan. 2023. 1º levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2022.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Safra 2018. Brasília, DF, v. 5, n. 2, p. 1-66, maio 2018. 2º levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2022.
- DIJKSTRA, F. A.; MORGAN, J. A.; FOLLET, R. F.; LECAIN, D. R. Climate change reduces the net sink of CH₄ and N₂O in a semiarid grassland. **Global Change Biology**, v. 19, n. 6, p. 1816-1826, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12182>.
- FERNANDES, A. L.T.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 231-240, abr./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200015>.
- GONÇALVES, A. D. M. A. de; CARVALHO, A. M. de.; VEIGA, A. D.; ROCHA, O. C. Decomposição e ciclagem de nitrogênio no consórcio entre café e braquiária no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória, ES. Pesquisa, inovação e sustentabilidade dos cafés do Brasil. [anais...]. Brasília, DF: Embrapa Café, 2019.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Chapter One-A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v. 137, p.1-72, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>.
- MOSIER, A. R. Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. **Plant Soil**, v. 228, p.17-27, 2001.
- OLIVEIRA, A. D. de; RIBEIRO, F. P.; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; GATTO, A.; ZUIM, D. R.; PINHEIRO, L. de A.; PULRONIK, K.; SOARES, J. P. G.; CARVALHO, A. M. CH₄ and N₂O fluxes from planted forests and native Cerrado ecosystems in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 78, n.1, p.1-11. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0355>
- OLIVEIRA, A. D.; RIBEIRO, F. P.; FIGUEIREDO, C. C. de; MULLER, A. G.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS, I. L. dos; SÁ, M. A. C. de; SOARES, J. P. G.; SANTOS, M. V. A. dos; CARVALHO, A. M. de. "Effects of soil management, rotation and sequence of crops on soil nitrous oxide emissions in the Cerrado: A multi-factor assessment". **Journal of Environmental Management**, v. 348, p.1-10, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119295>.
- OLIVEIRA, A. D. de; CARVALHO, A. M. de; SANTOS, M. V. de A.; SOUSA, T. R. de; JESUS, D. R. de; FONSECA, A. C. P. da; RIBEIRO, H. C.; SILVA, F. M. da; PINTO, G. da S. Emissões de óxido nitroso do solo cultivado com café no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 22., 2023, Natal. A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas: **anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2023b. p. 2479-2483.
- OLIVEIRA JUNIOR, G. G. de.; SILVA, A. B. da.; LIMA, M. A. de.; SILVA, J. C. T. R. da.; FLORENTINO, L. A.; APARECIDO, L. E. de O. Estimativa da emissão de CO₂ equivalente em operações mecanizadas na cultura do cafeeiro. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 301-316, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1123911>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- OLIVEIRA JUNIOR, G. G. de; SILVA, A. B. da S.; MANTOVANI, J. R. M.; MIRANDA, J. M.; FLORENTINO, L. A. Levantamento de emissão de gases de efeito estufa pela metodologia do carbono equivalente na cultura do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 412-419, out./dez. 2015.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2nd ed. Academic Press, 1996. 340 p.

- ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C.; MERA, A. C.; JERKE, C.; CORDEIRO, A. Water deficit in arabica coffee trees as affected by irrigation regimes in the Cerrado region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Programme abstracts**. Montpellier: Association for Science and Information on Coffee, 2008. p.1157-1160.
- ROCHA, O. C.; RAMOS, M. L. G.; VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; BARTHOLO, G. F.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, J. E. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1476-1483, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900046>.
- ROUSSEL, I. EXTREME WEATHER EVENTS AND AIR POLLUTION PEAKS IN THE LIGHT OF CLIMATE CHANGE: In: AKHTAR, R. (ed.). **Extreme weather events and human health: international case studies**. Switzerland: Springer, 2019. p. 59-78.
- SANTOS, I. L.; OLIVEIRA, A. D. de; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; FERREIRA, E. A. B.; Sa, M. A. C.; CARVALHO, A. M. Soil N₂O emissions from long-term agroecosystems: interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 233, n. 3, p.111-120, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.027>
- SIGNOR, D. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestre em Ciências – Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- SILVA, A. B. da; MANTOVANI, J. R.; MOREIRA, A. L.; REIS, R. L. N. Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Interciência, Caracas**, v. 18, n. 4, p. 286-291, 2013.
- SILVA, F. A. M.; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V. **Normal climatológica de 1974 a 2003 da estação principal da Embrapa Cerrados**. Planaltina: DF, 2014. 98 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 321). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/999589>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- SILVA, J. F.; CARVALHO, A. M. de; REIN, T. A.; COSER, T. R.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; VIEIRA, D. L.; COOMES, D. A. Nitrous oxide emissions from sugarcane fields in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 246, p. 55-65, 2017, p. 55-65.
- SOARES, D. de A. **Emissões de gases de efeito estufa por fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada**. 2016. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- WU, K.; ZHANG, Z.; FENG, L.; BAI, W.; FENG, C.; SONG, Y.; GONG, P.; MENG, Y. Effects of maize stalks and urea on N₂O production from maize field soil. **Agronomy**, v. 11, p. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102009>.
- ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; MAROZZI, A. H. B.; COSTA, F. F. S.; CARVALHO, A. M. de. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 53 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1014351>. Acesso em: 11 mar. 2024.