



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

IMPACTO DA FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE SOLOS

IMPACT OF VINEYARD FERTIRIGATION ON CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS

Recibido el 15 de noviembre de 2019; Aceptado 18 de septiembre de 2020

Abstract

Vinasse is an effluent generated in the process of ethanol production from sugarcane, and due to its characteristics is used in soil fertigation, but can also present high pollutant potential when used improperly. The objective of this work was to evaluate the changes in chemical and microbiological characteristics of soil fertigated with vinasse in different cropping systems. For this, soil samples were collected in sugarcane and pasture areas that have a history of vinasse fertigation. These collections were performed at two different times, 15 days and 2 years after the last vinasse application. As control was used samples of pastures cultivated with pasture and sugar cane, which never received applications of vinasse. The chemical characteristics analyzed were: pH, Al, CO, P, mineral N, K, Ca, Mg, Cu and Zn. The microbiological characteristics evaluated were: RBS, BMS-C, N mineralization, qCO₂ and qMic. The application of vinasse in the soil influenced the chemical and microbiological characteristics of the soil, with different effects for each crop and over the time following the application.

Keywords: effluent, environmental impact, soil microbiology.

Ivana Bettio ¹
* Juliana Barden Schalleberger ²
Giuvana Lazzaretti ¹
Sandi Siqueira Paveglio ¹
Marcia Matsuoka Rosa ³
Joilmaro Rodrigo Pereira Rosa ³

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

³ Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. R. Delfino Conti - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-000, Brasil. Email: juliana.b.s@posgrad.ufsc.br

Resumo

A vinhaça é um efluente gerado no processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, e devido ao teor de matéria orgânica e nutrientes presentes na vinhaça, esta tem sido utilizada na fertirrigação dos solos, porém também pode apresentar alto potencial poluidor quando utilizada inadequadamente. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações das características químicas e microbiológicas do solo fertirrigado com vinhaça em diferentes sistemas de cultivos. Para isto foram coletadas amostras de solo em áreas de cana-de-açúcar e pastagem que possuem um histórico de fertirrigação com vinhaça. Essas coletas foram realizadas em dois tempos distintos, 15 dias e 2 anos após a última aplicação de vinhaça. Como controle foi utilizado amostras de solos cultivados com pastagem e cana-de-açúcar, que nunca receberam aplicações de vinhaça. As características químicas analisadas foram: pH, Al, CO, P, N mineral, K, Ca, Mg, Cu e Zn. As características microbiológicas avaliadas foram: RBS (Respiração Basal do Solo), BMS-C (Carbono da Biomassa Microbiana), mineralização do N, qCO_2 (quociente metabólico) e $qMic$ (quociente microbiano). A aplicação de vinhaça no solo influenciou nas características químicas e microbiológicas do solo, com efeitos diferentes para cada cultura e ao longo do tempo subsequente a aplicação.

Palavras chave: efluente, impacto ambiental, microbiologia do solo.

Introdução

O Brasil é um importante produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar, com uma produção estimada de 30.3 bilhões de litros na safra 2019/2020 (CONAB, 2019). Em consequência disso, uma maior quantidade de resíduos são gerados durante a produção do etanol, dentre os quais destaca-se a vinhaça. O volume de vinhaça produzido pelas destilarias varia em torno de 7 a 18 litros para cada litro de etanol (Corazza, 2006).

Atualmente, o destino mais comum da vinhaça é a sua utilização na fertirrigação do solo, pois apresenta alto teor de matéria orgânica e fornece nutrientes às culturas, podendo contribuir para o aumento da produtividade agrícola e redução dos custos econômicos, além de evitar impactos ambientais visto que o solo atua como neutralizador desse efluente (Mathew *et al.*, 2018; Laime *et al.*, 2011).

No entanto, a vinhaça é um líquido de coloração escura com elevada concentração de DQO (100 a 150 g/L), DBO (35 a 50 g/L) e nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, e pH ácido (3 a 5) (Robles-González *et al.*, 2012; Neto *et al.*, 2019). Segundo Moran-Salazar *et al.* (2016) a aplicação da vinhaça no solo promove diferentes efeitos que dependem do tipo e taxa de aplicação da vinhaça, tipo e composição química do solo, tipo e idade da cultura na irrigação, características orográficas e condições climáticas.

Dessa forma, a aplicação da vinhaça no solos pode tanto contribuir para a qualidade do solo como ocasionar desequilíbrios físicos, químicos e biológicos como a redução da biomassa e atividade microbiana, instabilidade estrutural do solo e acúmulo de nutrientes (Martins, 2011). Além desses

fenômenos, o excesso de nutrientes decorrente da aplicação inadequada da vinhaça no solo pode favorecer o processo de lixiviação e escoamento superficial, promovendo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Gomes *et al.*, 2018).

A legislação acerca das diretrizes para o uso da vinhaça na fertirrigação do solo ainda é deficiente no Brasil, não havendo referências em diversos estados, como no Rio Grande do Sul (Filho e Araujo, 2016). O monitoramento das características químicas e microbiológicas do solo se constitui como uma ferramenta essencial para verificar o efeito da vinhaça na qualidade do solo e compreender a relação com a cultura e o tempo de aplicação. Além disso, fornece subsídios para as orientações acerca da utilização adequada da vinhaça na fertirrigação, a fim de que a degradação ambiental decorrente dessa prática seja evitada (Silva e Martins, 2011).

Diante disto, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações das características químicas e microbiológicas do solo fertirrigado com vinhaça em diferentes sistemas de cultivos.

Metodologia

O estudo foi realizado em propriedades rurais localizadas no município de Porto Xavier/RS. De acordo com Streck *et al.* (2008), o solo dessa região é classificado como Neossolo Regolítico eutrófico. As amostras de solo foram coletadas nas proximidades da Usina Cooperativa dos Produtores de Cana de Porto Xavier (COOPERCANA).

A coleta das amostras de solo foi realizada em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e pastagens de capim Jiggs (*Cynodon dactylon*), as quais receberam a última aplicação de vinhaça há 15 dias e 2 anos. Nestas áreas, a aplicação de vinhaça foi realizada de forma empírica pelo produtor de acordo com a disponibilidade do resíduo na propriedade. Foram utilizadas como controle as amostras de solos de áreas de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem nativa que nunca receberam a aplicação de vinhaça.

As amostras foram retiradas na profundidade de 0-10 cm do solo, em quatro pontos distintos de cada tratamento, constituindo amostras compostas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3, sendo duas culturas (cana-de-açúcar e pastagem) e três tempos (nunca aplicado, 2 anos e 15 dias após a aplicação) com quatro repetições.

Segundo Paveglio (2018), a vinhaça utilizada apresentava as seguintes características químicas: pH 4.08, N total 35 mgL⁻¹, P total 57.3 mg L⁻¹, K total 598.53 mg L⁻¹, Ca total 90.2 mg L⁻¹ e Mg total 110.4 mg L⁻¹.

Inicialmente, os solos foram peneirados em malha de 5 mm e mantidos a 60% de sua capacidade de campo para determinação do carbono da biomassa microbiana (BMS-C), respiração basal do solo (RBS) e mineralização de nitrogênio (N).

O BMS-C foi determinado pelo método de fumigação e incubação proposto por Jenkinson e Powlson (1976) com algumas modificações feitas por Silveira (2011). A RBS foi estimada pela incubação do solo e quantificação do CO₂ liberado, conforme metodologia de Silva *et al.* (2007).

O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado pela razão entre a RBS e o BMS-C, com base em Anderson e Domsch (1993). O quociente microbiano (qMic) consiste na relação entre o BMS-C e o carbono orgânico do solo (CO) (Tótola e Chaer, 2002). A mineralização do N foi determinada pelo método anaeróbico de Canalli e Benedetti (2006) descrito por Silveira (2011).

As características químicas analisadas foram: pH, CO (carbono orgânico), fósforo (P), nitrogênio mineral (soma do N-NH₄ e N-NO₃), cálcio (Ca), alumínio (Al), potássio (K), magnésio (Mg), cobre (Cu) e zinco (Zn). Essas análises foram realizadas conforme metodologia de Tedesco *et al.* (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 beta (Silva, 2011).

Resultados e discussão

As características químicas pH, K, P e Cu mostraram diferenças significativas para o tempo após a aplicação de vinhaça e para a interação entre o tempo e a cultura, não apresentando diferenças significativas para as culturas estudadas (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F calculado na análise de variância e níveis de significância para os parâmetros avaliados, de acordo com o fator de variação.

Fator de Variação	pH	CO	Mg	K
Cultura	0.0014	43.74 **	11.29**	3.43
Tempo	49.45**	52.99**	2.80	27.44**
Tempo X Cultura	38.85**	27.80**	16.69**	12.07**
CV (%)	5.2	10.11	40.55	9.21
Fator de Variação	P	N mineral	Zn	Cu
Cultura	2.83	1.04	16.87 **	1.20
Tempo	13.49**	6.03**	11.93**	16.5**
Tempo X Cultura	13.71**	1.003	6.64**	30.64**
CV (%)	25.47	42.13	12.37	12.39

** apresentou-se significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Para o CO e Zn ocorreram diferenças significativas em todos os fatores de variação. O Mg apresentou diferença significativa para as culturas e também para a interação entre o tempo e a cultura, não apresentando diferenças significativas para o tempo de aplicação. Já o N mineral exibiu diferença significativa apenas para o tempo de aplicação da vinhaça no solo (Tabela 1).

O pH do solo variou de 3.97 a 6.22 na área cultivada com pastagem e 4.93 a 5.92 em áreas com cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas de solos sob cultivo de pastagem e cana-de-açúcar em diferentes tempos de aplicação de vinhaça.

Cultura	S/ aplicação	15 dias	2 anos
pH			
Pastagem	5.75 aA	6.22 aA	3.97 bB
Cana-de-açúcar	5.92 aA	4.93 bB	5.10 aB
** Al ³⁺ cmolc dm ⁻³			
Pastagem	0.10	0.00	4.85
Cana-de-açúcar	0.03	0.56	0.23
CO g Kg ⁻¹			
Pastagem	1.62 aC	2.72 aB	4.83 aA
Cana-de-açúcar	1.74 aA	1.96 bA	1.99 bA
** Ca cmolc dm ⁻³			
Pastagem	5.92	16.65	5.08
Cana-de-açúcar	6.75	4.53	5.97
Mg cmolc dm ⁻³			
Pastagem	1.73 bB	5.85 aA	3.33 aB
Cana-de-açúcar	2.85 aA	1.42 bB	1.49 bB
K mg dm ⁻³			
Pastagem	75.15 aB	216.51 aB	1294.24 aA
Cana-de-açúcar	79.33 aB	251.10 aA	201.59 bA
N mineral mg Kg ⁻¹			
Pastagem	9.63 aB	7.88 aB	124.69 aA
Cana-de-açúcar	6.13 aA	11.38 aA	14.88 bA
P mg dm ⁻³			
Pastagem	3.04 aB	5.05 aB	98.75 aA
Cana-de-açúcar	3.38 aA	12.32 aA	4.18 bA
Zn mg dm ⁻³			
Pastagem	8.97 aB	9.42 aB	27.20 aA
Cana-de-açúcar	6.35 aA	9.40 aA	7.79 bA
Cu mg dm ⁻³			
Pastagem	24.50 aA	11.56 bB	28.48 aA
Cana-de-açúcar	19.08 bB	25.17 aA	23.97 bA

Para cada atributo avaliado, valores em uma mesma linha, seguidos por letras maiúscula idênticas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey, enquanto valores em uma mesma coluna, seguidos por letras minúscula idênticas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. **Não analisado estatisticamente

Para o solo cultivado com pastagem foi verificado uma redução significativa do pH apenas após 2 anos da aplicação da vinhaça. Já no cultivo de cana-de-açúcar o pH diminuiu tanto nos 15 dias como 2 anos após a última aplicação. Portanto, é possível inferir que a vinhaça está contribuindo para a acidificação do solo, o que pode estar relacionado ao pH baixo da vinhaça, o qual era igual a 4.08.

Paulino *et al.* (2011) verificaram uma diminuição do pH do solo com o tempo de aplicação da vinhaça, promovendo a acidificação do solo ao decorrer dos anos. Nesse estudo, o solo controle apresentou um pH de 7 e o solo com histórico de 20 anos de fertirrigação com vinhaça um pH de 5, aproximadamente.

Barros *et al.* (2010) analisaram o efeito da adição de vinhaça durante 10 anos nos atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar, e verificaram que não houve efeito significativo sobre o pH do solo. Na área de solo cultivado com cana-de-açúcar e fertirrigado com vinhaça, o pH foi igual a 7.0 e sem fertirrigação a 6.2. Silva *et al.* (2014) verificaram uma tendência de aumento do pH com o acréscimo da dose de vinhaça aplicada em um Neossolo cultivado com cana-de-açúcar. O pH do solo não fertirrigado foi de 4.93 e o que recebeu a maior dose de vinhaça ($800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) apresentou um pH igual a 5.46.

As concentrações de Al^{+3} variaram de 0 a $4.85 \text{ cmolc dm}^{-3}$ nos solos de pastagem coletados após 15 dias e 2 anos da última fertirrigação com vinhaça, respectivamente (Tabela 2). De uma forma geral, os teores de Al^{+3} nos solos estudados podem ser considerados baixos pois estão dentro do intervalo definido por Sobral *et al.* (2015) ($<0.5 \text{ cmolc dm}^{-3}$), com exceção da concentração de $4.85 \text{ cmolc dm}^{-3}$ que é definida como alta ($>1.0 \text{ cmolc dm}^{-3}$).

Bohnen (1995) afirma que solos com pH superiores a 5.5 não apresentam alumínio tóxico devido a sua precipitação na forma de óxido de alumínio. Esse comportamento foi verificado nesse estudo, pois os tratamentos com pH abaixo de 5.5 possuem as maiores concentrações de Al^{+3} , como no solo de pastagem fertirrigado há 15 dias com pH 3.97 e $4.85 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Al^{+3} .

Em relação ao CO, os solos cultivados com pastagem apresentaram concentrações que variaram de 1.62 g Kg^{-1} no tratamento sem adição de vinhaça a 4.83 g Kg^{-1} no solo com a última aplicação há 2 anos. No solo cultivado com cana-de-açúcar, os valores foram de 1.74 a 1.99 g Kg^{-1} no solo controle e no tempo de 2 anos, respectivamente (Tabela 2). Embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre os tempos de aplicação no solo de cana-de-açúcar, foi constatado em ambas as culturas que a vinhaça promoveu um aumento do CO, com maior contribuição ao longo do tempo de aplicação.

Dados apresentados por Zolin *et al.* (2011) mostraram que a partir da primeira adição de vinhaça no solo, as concentrações de CO já tenderam a aumentar com o tempo de aplicação, demonstrando que os efeitos nos teores de matéria orgânica podem ser notados tanto a curto como a longo prazo. No solo testemunha e na primeira aplicação, Zolin *et al.* (2011) obtiveram 3.56 e 6.72 mg dm⁻³ de CO, respectivamente, e 20 aplicações correspondentes a 20 anos resultaram em uma concentração igual a 70.4 mg dm⁻³. Vasconcelos *et al.* (2010) também observaram um aumento do CO do solo com o uso de vinhaça.

Os teores de Ca variaram de 5.08 a 16.65 cmolc dm⁻³ no solo cultivado com pastagem fertirrigada há 2 anos e 15 dias, respectivamente. Paulino *et al.* (2011) encontraram maiores concentrações de Ca em comparação com os demais nutrientes e verificaram um decréscimo de Ca no solo após 2 anos da aplicação de vinhaça.

As maiores concentrações de Mg foram verificadas no solo de pastagem fertirrigada com vinhaça há 15 dias (5.85 cmolc dm⁻³) e no solo de cana-de-açúcar sem aplicação de vinhaça (2.85 cmolc dm⁻³). Os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre os tempos de aplicação em cada cultura.

Carvalho *et al.* (2013) constataram que a vinhaça incrementou os teores de Ca e Mg do solo fertirrigado com vinhaça. Nesse estudo, as concentrações de Ca e Mg foram de 8.0 e 4.8 cmolc dm⁻³ no solo sem aplicação, já no solo coletado após 180 dias de aplicação de 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça, as concentrações foram de 11.9 e 7.0 cmolc dm⁻³, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a vinhaça promoveu um aumento de Ca e Mg no solo de pastagem aos 15 dias seguintes da aplicação, mas ocorreu uma diminuição após 2 anos. Segundo Bébé *et al.* (2009) esse acréscimo se deve a alta concentração de Ca e Mg na vinhaça, assim como verificado na vinhaça aplicada nos solos do presente estudo que possuía 90.2 mg L⁻¹ de Ca e 110.4 mg L⁻¹ de Mg. Contudo, o solo cultivado com cana-de-açúcar e fertirrigado com vinhaça apresentou teores mais baixos de Ca e Mg, tanto em 15 dias como 2 anos após a última aplicação. Esse comportamento pode ser decorrente da cana-de-açúcar absorver mais rapidamente esses nutrientes do que a pastagem.

Os teores de K variam de 75.15 a 1294.24 mg dm⁻³ no solo de pastagem sem vinhaça e após 2 anos da aplicação, respectivamente. No solo com cana-de-açúcar as concentrações de K foram de 79.33 a 251.10 mg dm⁻³ no tratamento controle e após 15 dias de aplicação, respectivamente. Em ambas as culturas o solo sem aplicação de vinhaça apresentou menor concentração de K, inferindo que a vinhaça promoveu um aumento no teor de K do solo, o que está associado a alta concentração desse nutriente na vinhaça (598.53 mg L⁻¹).

Rossetto *et al.* (2008) enfatiza que o K é o macronutriente mais extraído do solo pela cana-de-açúcar. Nesse sentido, o menor valor de K disponível no solo com cana-de-açúcar em relação ao solo com pastagem pode ser decorrente da maior absorção deste elemento por essa cultura.

Silva *et al.* (2014) também verificaram um incremento de K trocável no solo e relacionaram esse resultado aos teores de K_2O na composição química da vinhaça. Barros (2009) observou um aumento de K de pelo menos três vezes, quando comparado com áreas não fertirrigadas com vinhaça. Bebé *et al.* (2009), verificaram que a adição de vinhaça proporcionou um aumento da concentração de K em todas as profundidade analisadas do solo (0-40 cm), independentemente dos períodos de aplicação.

Em relação às concentrações de N mineral, não foram verificadas diferenças significativas entre o solo sem aplicação e após 15 dias da última aplicação, tanto na cultura de cana-de-açúcar como na de pastagem. No tempo de 2 anos subsequentes a aplicação, apenas ocorreu diferença significativa no solo cultivado com pastagem. A menor concentração foi 6.13 mg Kg^{-1} no solo de pastagem sem aplicação e a maior $124.69 \text{ mg Kg}^{-1}$ no solo de cana-de-açúcar após 2 anos da última fertirrigação com vinhaça (Tabela 2). Este fato pode ter ocorrido em função da extração de N pela cultura da cana-de-açúcar uma vez que, este elemento é limitante para o crescimento e produtividade da cultura.

Barros *et al.* (2013) também não observaram diferenças significativas entre os teores de N do solo nas áreas de cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça. Canellas *et al.* (2003) constataram que a adição de vinhaça não modificou as concentrações de N no solo, em comparação com o solo que não recebeu a vinhaça. Em contrapartida, Madejón *et al.* (2001) perceberam uma pequena elevação no teor de N total dos solos fertirrigados com a vinhaça.

Os valores de P encontrados nos solos com pastagem variaram de 3.04 a 98.75 mg dm^{-3} para o tratamento controle e após 2 anos da última aplicação de vinhaça, respectivamente. No solo com cana-de-açúcar, a menor concentração de P foi de 3.38 mg dm^{-3} no tratamento sem aplicação e a maior 12.32 mg dm^{-3} após 15 dias da aplicação de vinhaça (Tabela 2). De uma forma geral, a aplicação de vinhaça aumentou os teores de P com respostas diferentes deste aumento em relação ao tempo de aplicação para cada cultura, sendo para pastagem o maior aumento aos 2 anos e para cana-de-açúcar aos 15 dias após a aplicação do resíduo.

Barros *et al.* (2010) verificaram que a fertirrigação de cana-de-açúcar com vinhaça durante 10 anos, promoveu um acréscimo significativo de P no solo, em três diferentes profundidades do solo (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm). Na camada superficial (0-15 cm), a concentração de P no solo sem vinhaça foi de 8.83 mg dm^{-3} e 28.74 mg dm^{-3} com aplicação de vinhaça.

As concentrações de Zn não apresentaram diferenças significativas em relação ao solo controle e aos tempos de aplicação, exceto o solo de pastagem fertirrigado com vinhaça há 2 anos. Os teores de Zn variam de 6.35 a 27.20 mg dm⁻³ no solo de cana-de-açúcar sem aplicação e no solo de pastagem coletado após 2 anos da última fertirrigação com vinhaça, respectivamente. No solo de pastagem (2 anos) a fertirrigação juntamente com o menor valor de pH do solo pode estar contribuindo com o maior teor de zinco deste solo, pois em solos ácidos há uma maior disponibilidade de micronutrientes.

Para Souza e Lobato (2004), os teores médios de Zn em solos agrícolas que não são tóxicos para as plantas estão na faixa de 1.0 a 1.6 mg dm⁻³. No presente estudo, os valores de Zn foram superiores a esse intervalo, bem como nos solos sem aplicação de vinhaça, indicando que os solos possuem naturalmente altos teores de Zn.

No solo cultivado com pastagem, os teores de Cu variaram de 11.56 a 28.48 mg dm⁻³ após 15 dias e 2 anos da última aplicação de vinhaça, respectivamente. No solo com cana-de-açúcar, a menor concentração de Cu foi 19.08 mg dm⁻³ no solo controle e a maior 25.17 mg dm⁻³ após 15 dias da aplicação. De uma forma geral, a vinhaça não causou um aumento efetivo nos teores de Cu dos solos.

Souza e Lobato (2004) relata que os teores aceitáveis de Cu em áreas de cultivo devem estar entre 0.5 e 0.8 mg dm⁻³. Os valores encontrados nos solos estudados ultrapassaram esse limite, inclusive na área sem aplicação de vinhaça. Esse maior teor de Cu pode estar relacionada ao material de origem dos solos, uma vez que, a região é formada por rochas basálticas e segundo Oliveira (2006), o basalto geralmente possui elevados níveis de metais em sua composição, entre eles o Cu.

Barros *et al.* (2010) verificaram uma maior concentração de Zn e Cu nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm dos solos cultivados com cana-de-açúcar sem aplicação de vinhaça, em comparação com os fertirrigados com vinhaça. Esse resultado foi atribuído a elevação do pH dos solos com vinhaça que acarretou na diminuição da solubilização desses íons. De forma contrária, Canellas *et al.* (2003) constataram que na área de cana com aplicação de vinhaça houve um acréscimo nos teores de Cu e Zn.

As características microbiológicas avaliadas apresentaram interação significativa para os dois fatores (cultura x tempo) para todos os parâmetros avaliados, com exceção da mineralização do N (Tabela 3).

A RBS e a mineralização do N apresentaram diferenças significativas isoladas para a cultura, enquanto que o BMS-C apresentou diferenças para o fator tempo de aplicação. O qCO₂ e qMic

apresentaram diferenças significativas para todos os fatores estudados e suas interações (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F calculado na análise de variância a níveis de significância para os parâmetros avaliados, de acordo com o fator de variação.

Fator de Variação	RBS	BMS-C	qCO ₂	qMic	Mineralização N
Cultura	110.01**	0.53	55.51**	18.04**	9.63**
Tempo	2.15	15.27**	36.11**	119.22**	0.77
Tempo x Cultura	19.39**	23.86**	40.06**	70.45**	0.94
CV (%)	16.19	16.33	11.49	13.37	45.25

** apresentou-se significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Nos solos com pastagem a aplicação de vinhaça aumentou a RBS, sendo que os valores apresentaram diferenças significativas e variaram de 11.07 a 28.07 mgC-CO₂ Kg⁻¹ no solo sem aplicação e após 2 anos da fertirrigação com vinhaça, respectivamente. Em contrapartida, a RBS dos solos com cultivo de cana-de-açúcar e que receberam a vinhaça não apresentaram diferenças significativas comparadas com as do solo controle (Tabela 4).

Tabela 4. Características microbiológicas dos solos sob cultivo de pastagem e cana-de-açúcar em diferentes tempos de aplicação de vinhaça.

Cultura	S/ aplicação	15 dias	2 anos
RBS mgC-CO ₂ Kg ⁻¹ solo dia ⁻¹			
Pastagem	11.07 aC	21.42 aB	28.07 aA
Cana-de-açúcar	9.73 aA	7.99 bA	8.12 bA
BMS-C mg-Cmic Kg ⁻¹ solo			
Pastagem	535.4 aA	491.32 aA	337.91 bB
Cana-de-açúcar	606.64 aA	229.96 bB	595.76 aA
qCO ₂ mgC-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C.h ⁻¹			
Pastagem	0.020 aB	0.055 aB	0.100 aA
Cana-de-açúcar	0.017 aA	0.051 aA	0.014 bA
qMic %			
Pastagem	3.39 aA	1.74 aB	0.55 bC
Cana-de-açúcar	3.39 aA	0.84 bB	2.94 aA
Mineralização do N mg Kg ⁻¹			
Pastagem	8.75 aB	19.26 aAB	30.63 aA
Cana-de-açúcar	5.26 aA	4.82 bA	5.23 bA

Valores em uma mesma linha, seguidos por letras maiúsculas idênticas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey, enquanto valores em uma mesma coluna, seguidos por letras minúsculas idênticas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Para Martins (2011) a vinhaça aplicada no solo pode interferir de forma direta na redução de CO₂ liberado para a atmosfera, pois a RBS apresentou-se menor nos dois períodos de aplicação estudados (6 e 16 anos) quando comparada com as áreas sem aplicação.

Santos *et al.* (2009) avaliando os solos com diferentes doses de aplicação de vinhaça observaram que a liberação de CO₂ variou conforme os dias de incubação, com redução nos 60 primeiros dias e aumento aos 120 dias de incubação. Nos 30 primeiros dias, os autores não observaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Os solos com pastagem apresentaram valores de RBS superiores aos cultivados com cana-de-açúcar (Tabela 4). Esse resultado pode ser atribuído ao desenvolvimento radicular das gramíneas na superfície do solo que contribuem para o aumento da atividade biológica do solo (Araújo *et al.*, 2007). Além disso, o não revolvimento do solo por práticas de manejo, a maior retenção de água no solo e a diversidade de substrato orgânico com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, contribuem com a atividade biológica do solo na área de pastagem (Cardoso *et al.*, 2009).

Os valores de BMS-C diminuíram no solo de pastagem com a última aplicação de vinhaça há 2 anos (337.91 mg-Cmic Kg⁻¹) e 15 dias após a aplicação no solo com cana-de-açúcar (229.96 mg-Cmic Kg⁻¹), em relação aos solos sem aplicação de vinhaça. Já nos demais tempos de aplicação de vinhaça o BMS-C para cada cultura não diferiu estatisticamente dos valores obtidos nos solos sem fertirrigação (Tabela 4). Com base nesses resultados, observa-se que a vinhaça não estimulou a população microbiana, inclusive apresentou uma tendência à redução da biomassa.

Tejada *et al.* (2006) perceberam uma redução de 44.9% do BMS-C nos solos onde foi realizada a aplicação de vinhaça e 26.2% da RBS com as maiores doses de vinhaça. Tejada *et al.* (2007) atribuíram esse decréscimo do BMS-C ao elevado teor de sódio contido na vinhaça.

Zils (2015) ao estudar a resposta da aplicação de vinhaça no solo, constatou que nos nove primeiros dias do tratamento a biomassa microbiana respondeu bem à aplicação de vinhaça, com aumento de 1.92 vezes do BMS-C em comparação com o solo sem aplicação, mostrando a elevada sensibilidade da biomassa microbiana à aplicação de resíduos orgânicos. O autor retrata ainda que a vinhaça é considerada uma fonte de carbono de fácil mineralização, o que tende a estimular o crescimento microbiano do solo em um curto período de tempo após a aplicação da mesma.

Alves (2015) também mostrou que os aumentos do BMS-C são promovidos pela vinhaça nos primeiros dias após sua aplicação, diminuindo ao longo do tempo, pois imediatamente após a aplicação o solo inicia um intenso ciclo de respiração e consumo de matéria orgânica lábil, tendendo à estabilização devido às fontes de carbono remanescentes serem mais complexas.

Em relação ao presente estudo, já nos 15 dias posteriores a aplicação de vinhaça ocorreu uma redução do BMS-C, inferindo que a matéria orgânica facilmente assimilável fornecida pela vinhaça já havia sido biodegradada.

Os valores de qCO_2 não apresentaram diferenças significativas entre os solos sem e com aplicação de vinhaça, com exceção do solo cultivado com cana-de-açúcar e fertirrigado com vinhaça há 2 anos, o qual apresentou um maior valor de qCO_2 ($0.1 \text{ mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$). No entanto, é possível verificar uma tendência de aumento do qCO_2 após 15 dias da aplicação de vinhaça em ambas as culturas.

Cunha *et al.* (2011) relacionam os maiores valores de qCO_2 às condições ambientais estressantes, onde a biomassa é menos eficiente no uso do carbono, aumentando as perdas por CO_2 e incorporando menos carbono ao tecido microbiano. Alves (2015) verificou que o qCO_2 de um Latossolo Vermelho aumentou na presença de vinhaça. Nos primeiros 10 dias após a aplicação de vinhaça, esse aumento foi verificado em todas as concentrações de vinhaça (37, 74, 148 e 200 mL kg^{-1} de solo seco), mas ao longo do tempo (30 e 60 dias) somente as concentrações mais altas de vinhaça (148 e 200 mL kg^{-1}) promoveram uma elevação do qCO_2 .

Nos tratamentos com pastagem o $qMic$ variou de 0.55 a 3.39% no solo fertirrigado com vinhaça há dois anos e sem aplicação, respectivamente. Já nos tratamento com cana-de-açúcar, o $qMic$ variou de 0.84 a 3.39% no solo fertirrigado há 15 dias e sem aplicação, respectivamente. Em comparação com o solo sem fertirrigação, o solo cultivado com pastagem apresentou um $qMic$ menor em ambos os tempos de aplicação, já no solo com pastagem a redução foi significativa apenas após 2 anos, indicando que nessas áreas a população de microrganismos foi menos eficiente em imobilizar o carbono.

Nicodemo (2009) trata o $qMic$ como o carbono disponível para o crescimento microbiano, inferindo que os valores mais altos estão associados aos solos de melhor qualidade. Segundo Jakelaitis *et al.* (2008), valores de $qMic$ inferiores à 1% indicam que a atividade microbiana está limitada, o que pode ser verificado no solo de pastagem e cana-de-açúcar fertirrigado há 2 anos e 15 dias, respectivamente, corroborando com os maiores valores de qCO_2 constatados nesses solos.

De acordo com Gama-Rodrigues *et al.* (2008), os solos que possuem matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse e é incapaz de utilizar totalmente o CO e, por consequência, o $qMic$ tende a diminuir. Agostinho *et al.* (2017) não verificaram diferenças significativas entre o $qMic$ dos solos sem e com aplicação de vinhaça (100 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), sendo 1.9% o $qMic$ obtido em ambos os tratamentos.

Nos solos com cultivo de pastagem, a vinhaça promoveu um acréscimo significativo de mineralização do N, com aumento ao longo do tempo. Nessa cultura os valores variaram de 8.75 a 30.63 mg Kg⁻¹ no solo sem aplicação e no fertirrigado com vinhaça há 2 anos. De forma contrária, entre os solos cultivados com cana-de-açúcar não foram verificadas diferenças significativas em relação aos valores de mineralização do N.

Segundo Camargo *et al.* (1999) a quantidade de nitrogênio mineralizado depende da temperatura, umidade, aeração e, quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, pois essas condições interferem na atividade microbiana, bem como na sua capacidade de transformar o nitrogênio orgânico em mineral. Uma vez que a aplicação de vinhaça não favoreceu a atividade microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar, como comprovado nos baixos valores de RBS, este fato pode explicar a baixa mineralização do N nesses solos.

Neto (2008) relata que o nitrogênio presente na vinhaça é predominantemente orgânico, portanto a mineralização é a primeira transformação biológica que ocorre no solo. Prezotto (2009) constatou nos solos tratados com vinhaça uma mineralização de nitrogênio de 95%. Em seu estudo, Silva (2012) encontrou menores valores de nitrogênio mineralizado para o tratamento controle quando comparado aos solos com aplicação de vinhaça, pois esse efluente possui substâncias orgânicas de fácil decomposição, portanto, estimula a atividade dos microrganismos.

Conclusões

A aplicação de vinhaça no solo influenciou nas características químicas e microbiológicas do solo, com efeitos diferentes para cada cultura e ao longo do tempo subsequente a aplicação.

De uma forma geral, a aplicação de vinhaça promoveu uma diminuição do pH, aumentou as concentrações de CO e K, e causou efeitos distintos nas concentrações de Ca, Mg e P em relação à cultura e ao tempo de aplicação.

Os indicadores microbiológicos apresentaram-se sensíveis ao indicar as mudanças ocorridas devido à aplicação de vinhaça ao solo. A vinhaça reduziu a população microbiana e aumentou a atividade dos microrganismos do solo.

Até o momento, o uso da vinhaça como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar e pastagem não está causando danos efetivos na qualidade dos solos estudados. No entanto, uma atenção especial deve ser dada a acidificação do solo ocasionada pela aplicação de vinhaça. Dessa forma, novos estudos devem ser realizados considerando as doses a serem aplicadas deste efluente e seus efeitos ao longo do tempo de aplicação.

Dessa forma, evidencia-se a importância do monitoramento das características químicas e microbiológicas dos solos em que a vinhaça é aplicada, avaliando também as características desse resíduo, a fim de que este efluente seja utilizado de forma adequada para melhorar a fertilidade e produtividade dos solos, ao passo que os impactos ambientais decorrentes dessa prática sejam identificados e evitados.

Referências bibliográficas

- Agostinho, P. R., Gomes, S. S., Gallo, A. S., Guimarães, N. F., Gomes, M. S., Silva, R. F (2017) Biomassa microbiana em solo adubado com vinhaça e cultivado com milho safrinha em sucessão a leguminosas. *Acta Iguazu*, **6**(3), 31-43.
- Alves, P. R. L. (2015) *Avaliação ecotoxicológica da vinhaça de cana-de-açúcar no solo*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 138 pp.
- Anderson, T. H. and Domsch, K. H. (1993) The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, **25**(3), 393-395.
- Araújo, R., Goedert, W. Lacerda, M. P. C. (2007) Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado Nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **31**, 1099-1108.
- Barros, J. D. S., Chaves, L. H. G., Chaves, I. B., Farias, C. H. A. Pereira, W. E. (2013) Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solos, nos tabuleiros Costeiros Paraibanos. *Revista Caatinga*, **26**(1), 2013, 35-42.
- Barros, R. P. (2009) *Atributos biológicos e químicos de um solo cultivado com cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.) fertirrigado com vinhaça*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 84 pp.
- Barros, R. P., Viégas, P. R. A., Silva, T. L., Souza, R. M., Barbosa, L., Viégas, R. A., Barretto, M. C. V., Melo, A. S. (2010) Alterações em Atributos Químicos de Solo Cultivado com cana-de-açúcar e Adição de Vinhaça. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, **47**(3), 341-346.
- Bebé, F. V., Rolim, M. M., Pedrosa, E. M. R., Silva, G. B.; Oliveira, V. S. (2009) Avaliação de solo sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **13**(6), 2009, 781-187.
- Bianchi, S. R. (2008) *Avaliação química de solos tratados com vinhaça e cultivados com alfafa*. 2008. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em química, Universidade de São Carlos, São Carlos.
- Bohnen, H. (1995) Acidez e calagem. In Gianello, C., Bissani, C. A., Tedesco, M. J. (Eds.). *Princípios de fertilidade de solo*, UFRGS-Departamento de Solos, Porto Alegre, 51-76.
- Canellas, L. P., Velloso, A. C. X., Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P; Rumjanek, V. M. (2003) Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **27**(5), 935-44.
- Cardoso, E. L., Silva, M. L. N., Moreira, F. M. S., Curi, N. (2014) Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada, nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **44**(6), 631-637.
- Carvalho, J. C., Andreotti, M., Buzetti, S., Carvalho, M.P. (2013) Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **43**(1), 1-9.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento (2019) *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2019/20*, n.2, v.6, 62 pp. Acesso em 12 de novembro 2019, disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/28151_8e3691370bb3e9f573aeca293ebc9a9
- Corazza, R. I. (2006) Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação, *XLIV Congresso da Sober*, Fortaleza, Brasil.

- Cunha, E. Q., Stone, L.F., Ferreira, E. P. B., Didonet, A. D., Moreira, J. A. A., Leandro, W.M (2011) Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho II- atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**, 603-611.
- Filho, F. E. F., Araujo, G. J. F. (2016) Normativos federais, estaduais reguladores da destinação da vinhaça no Brasil: uma proposta de nova abordagem. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace*, **7**(3), 146-160.
- Gama-rodrigues, E. F., Barros, N. F., Viana, A. P., Santos, G. A. (2008) Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **32**,1489-1499.
- Gomes, A. C. C. O, Carvalho, L. A., Suárez, Y. R., Novak, E., Moreira, R. M. (2018) Análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de poços de monitoramento em área aplicada com vinhaça. *Revista Águas Subterrâneas*, **32**(2), 2018, p. 237-247
- Jakelaitis, A., Silva, A. A., Santos, J. B., Vivian, R. (2008) Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **38**(2),118-127.
- Jenkinson, D. S., Powlson, D. S., Wedderburn, R. W. M. (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – III. The relationships between soil bio volume measured by optical microscopy and the flush of decomposition caused by fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, **8**(3), 189-202.
- Laime, E. M. O., Fernandes, D. C. S., Freire, E. A. (2011) Possibilidades tecnológicas para a 508 destinação da vinhaça: uma revisão. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, **5**, 86-90.
- Lelis Neto, J. A. (2008) *Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 89 pp.
- Madejón, E., Lopez, R., Murillo, J.M., Cabrera, F. (2001) Agricultural use of three vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol in the Guadalquivir river valley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **84** (1), 55-65.
- Martins, M.E. (2011) *Atributos de um latossolo sob aplicação de vinhaça e cultivo de cana-de-açúcar*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 70 pp.
- Mathew, A. K., Abraham, A., Mallapureddy, K. K., Sukumaran, R. K. (2018) *Lignocellulosic Biorefinery Wastes, or Resources?* In Lee, D., Bhaskar, T., Pandey, A., Khanal, S. K., Mohan, S. V. (Eds.), *Waste Biorefinery: potential and perspectives*, Elsevier B.V, 267-297.
- Moran-Salazar, R. G., Sanchez-Lizarraga, A. L., Rodriguez-Campos, J., Davila-Vazquez, G., Marino-Marmolejo, E. N., Dendooven, L., Contreras-Ramos, S. M. (2016) Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *Springerplus*, **5**(1), 1007.
- Neto, C. J. D, Letti, L. A. J., Karp, S. G., Vítola, F. M. D., Soccol, C. R. (2019) *Production of biofuels from algae biomass by fast pyrolysis*. In Pandey, A., Mohan, S.V., Chang, J., Hallenbeck, P., Larroche, C. (Eds.), *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, Elsevier, 461-473.
- Nicodemo, M. L. F. (2009) *Uso da biomassa microbiana para avaliação da qualidade de solo em sistemas silvipastoris*. Embrapa pecuária sudeste, São Carlos. 2009. Acesso em 12 de outubro 2017, disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/696813/1/PROCIDoc93MLFN2009.00411.pdf>
- Oliveira, A. C. S. (2006) *Acúmulo de micronutrientes e de elementos tóxicos em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 100 pp.
- Paulino, J., Zolin, C. A., Bertonha, A., Freitas, P. S. L. e Folegatti, M. V (2011). Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II Características da cana de açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **15**(3), 244-249.

- Paveglio, S. S. (2018) *Efeito da aplicação de doses de vinhaça nas características químicas e microbiológicas de solos*. Universidade Federal de Santa Maria. Trabalho de Conclusão de Curso, 87 pp.
- Robles-González, V. R., Galíndez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., Poggi-Varaldo, M. (2012) Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, **157**(4), 524-546.
- Santos, G. A., Camargo, F. A.O. (1999) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais, subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap. 11, 1-12.
- Santos, T. M. C. S, Santos, M. A. L., Santos, C. G., Santos, V. R., Pacheco, D. S. (2009). Fertirrigação com vinhaça e seus efeitos sobre evolução e liberação de CO₂ no solo. *Revista Caatinga*, **22**, 141-145.
- Silva, A. (2012) *Vinhaça concentrada de cana-de-açúcar: monitoramento das propriedades químicas do solo e mineralização líquida de nitrogênio*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 109 pp.
- Silva, A. P. M.; Bono, J. A. M., Pereira, F. A. R (2014) Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **18**(1), 38-43.
- Silva, D. T., Martins, M. D. (2011) Qualidade microbiológica do solo fertirrigado com vinhaça. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, **9**(2), 273-282.
- Silva, E. E., Azevedo, P.H.S., De-Polli, H. (2007) *Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)*. EMBRAPA, Produção de informação. Rio de Janeiro: Seropédica, 2007. (Comunicado Técnico, 98).
- Silva, F. de A. S. *Assistat Versão 7.7 beta*. 2011.
- Silveira, A. O. (2011) *Avaliação de metodologias para o monitoramento da qualidade do solo*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 87 pp.
- Souza, D. M., Lobato, E. (2004) *Cerrado: correção e adubação*. 2a ed., Embrapa Cerrados, Brasília, 416 pp.
- Streck, E. V., Kampf, N., Dalmolin, R. S. D., Klamt, E., Nascimento, P.C., Schneider, E. e Pinto, L.F.S (2008) *Solos do Rio Grande do sul*. 2a ed., EMATER/RS, Porto Alegre, 222 pp.
- Tedesco, M. J., Volkweiss, S.J., Bohnen, H. (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Boletim técnico N. 5. 2. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 174 pp.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., Hernandez, M. T. (2006) Organic amendment based on fresh and composted beet vinasse: influence on soil properties and wheat yield. *Soil Biology & Biochemistry*, **70**(3), 900-908.
- Tótola, M. R., Chaer, G. M. (2002) Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *Tópicos em ciência do solo*, **2**, 195-276.
- Vasconcelos, R. F. B., Cantalice, J. R. B., Silva, J. A. N., Oliveira, V. S., Silva, Y. J. A. B. (2010) Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **34**, 639-648.
- Zils, T. (2015) *Efeito do uso da vinhaça associada a adubação nitrogenada no carbono Lábil e microbiano em solo cultivado com cana-de-açúcar no cerrado*. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- Zolin, C. A., Paulino, J., Bertonha, A., Freitas, P. S. L., Folegatti, M. V. (2011) Estado Exploratório do Uso da Vinhaça ao longo do tempo. I Caracterização do Solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **15**(1), 22-28.
- Zoz, T., Lana, M. C., Steiner, F., Frandoloso, J. F., Fey, R. (2009) Influência do pH do Solo e de Fertilizantes Fosfatados Sobre a Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho. *Synergismuss cyentifica UTFPR*, Pato Branco, **4**(1), 2009.