

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO ARGILOSO E DO SOLO ARENOSO
SOB LONGO PERÍODO DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA SOQUEIRA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

EDUARDA GONÇALVES DA SILVA RAMOS

JABOTICABAL - SP

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO ARGILOSO E DO SOLO ARENOSO
SOB LONGO PERÍODO DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA SOQUEIRA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

EDUARDA GONÇALVES DA SILVA RAMOS

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação
em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP
1º Semestre/2023

R175q Ramos, Eduarda Gonçalves da Silva
Qualidade estrutural do solo argiloso e do solo arenoso sob longo período de aplicação de vinhaça na soqueira da cana-de-açúcar / Eduarda Gonçalves da Silva Ramos. -- Jaboticabal, 2023
41 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Carolina Fernandes

1. Manejo do Solo. 2. Agregação. 3. Porosidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DEPARTAMENTO:**CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA****CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**
TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**TÍTULO:****QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO ARGILOSO E DO SOLO ARENOSO
SOB LONGO PERÍODO DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA SOQUEIRA DA
CANA-DE-AÇUCAR****ACADÊMICO:** Eduarda Gonçalves da Silva Ramos**CURSO:** Engenharia Agrônômica**ORIENTADOR (ES):** Carolina Fernandes

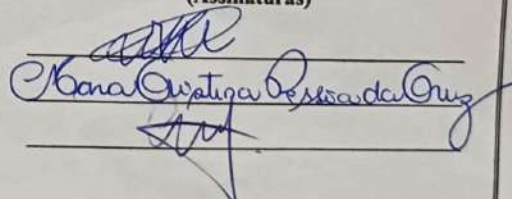
Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

(Assinaturas)

Presidente	Carolina Fernandes
Membro	Mara Cristina Pessoa da Cruz
Membro	Gustavo José Soares



Jaboticabal 14 / 07 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

31 / 07 / 2023


Chefe do Departamento

Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho

Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola

FCAV/UNESP

Aos meus pais, Regina Gonçalves da Silva e Alcebíades Pereira Ramos, que me ensinaram com muito amor e dedicação o real sentido da vida e jamais passaram um dia sem se dedicar à minha felicidade.

DEDICO

À minha orientadora, Carolina Fernandes, e ao meu querido colega, Guilherme de Oliveira Patrício Seara, que contribuíram para a conclusão deste trabalho, por todos os ensinamentos, pela amizade e pela dedicação.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, pelo dom da vida e por fazer dela, instrumento para honra e glória de Seu nome.

Aos meus pais, Regina Gonçalves da Silva e Alcebíades Pereira Ramos, por todo amor, dedicação, incentivo e confiança.

Aos meus irmãos, Édi Carlos Gonçalves da Silva Ramos, Eudi Gonçalves da Silva Ramos e Eizi Gonçalves da Silva Ramos, por todo carinho, inspiração e incentivo.

Aos meus sobrinhos, Davi Ângelo Pimenta Ramos, Marina Mariano Ramos, Lara Pimenta Ramos, Maya Pimenta Ramos, Milena Mariano Ramos e Enzo de Oliveira Ramos, por todo amor.

Aos meus avós, Tereza Afonso Gonçalves (*in memoriam*), Mario Gonçalves da Silva (*in memoriam*), Luis Pereira Ramos (*in memoriam*), Maria Gonçalves Ramos (*in memoriam*) e Maria Rosália Rodrigues Ramos (*in memoriam*), pelos ensinamentos e amor.

Às minhas cunhadas, Thais Pimenta Ramos, Juliana Andréia Mariano Ramos e Aline de Oliveira Ramos, por todo carinho e amizade.

À minha orientadora, Carolina Fernandes, pela amizade, carinho, paciência, inspiração e ensinamentos.

Ao meu colega, Guilherme de Oliveira Patrício Seara, pela irmandade e aprendizado.

À Claudia Campos Dela Marta pelos ensinamentos, paciência e auxílio no âmbito laboratorial.

À minha banca examinadora, Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz e Me. Gustavo José Soares, pela contribuição inestimável a este trabalho.

Ao Grupo São Martinho S/A, na pessoa do Dr. Bruno Henrique Silveira Mazaron, que disponibilizou a estrutura física e a equipe de trabalho para a realização dessa pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa.

À FCAV, professores e servidores, por todos os ensinamentos e carinho.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Física do Solo (GPFiS) pela amizade e ensinamentos.

Aos meus amigos da Nata: Ana Laura da Costa Antônio Santos, Gabriely Veiga da Silva, Joice Franciele Vieira Gregório, Matheus Pereira de Oliveira, Matheus Alexander Barboba, Laila Feliciano da Silva, Márcio Mandrá Júnior, Fernando Miguel Quadros, Gislaine Ferreira Barbosa, que desde o primeiro momento estiveram comigo, nas horas boas e ruins.

A todos os colegas e amigos que cruzaram meu caminho e me ensinaram a ser uma pessoa melhor, em especial os amigos: Lucas Caruzo Angelo, Julio César Paim, Roger Meirelles, Flávio Henrique Biliu, João Pedro de Sá.

A todos os meus familiares por todo carinho e energia positiva.

E a todos que compuseram a minha trajetória, profissional e pessoal.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO ARGILOSO E DO SOLO ARENOSO SOB LONGO PERÍODO DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A vinhaça é um dos subprodutos provenientes da indústria sucroenergética, sendo considerada de alto potencial fertilizante devido à presença de carbono orgânico e cátions. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de vinhaça, por longo período, na qualidade estrutural do solo argiloso e do solo arenoso. Foram avaliadas duas áreas agrícolas adjacentes, uma com solo de textura argilosa (490 g kg^{-1} de argila) e outra com solo de textura arenosa (860 g kg^{-1} de areia). Em cada um dos solos, avaliaram-se dois manejos, um com aplicação de vinhaça há mais de 10 anos, e outro sem a aplicação, totalizando quatro áreas. Após o corte da cana-de-açúcar e a aplicação anual de vinhaça na soqueira, foram amostrados 10 pontos em cada uma das quatro áreas, em duas camadas, 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. Nas amostras deformadas, coletadas com o auxílio do trado holandês, foi determinado o carbono orgânico do solo (COS). Nas amostras com estrutura preservada coletadas com o auxílio da pá reta, foram determinados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), e nas amostras indeformadas coletadas com o auxílio do amostrador tipo Uhland, em anéis volumétricos com dimensões de 0,05 x 0,05 m, foram determinados a macroporosidade (Macro), a microporosidade (Micro), a porosidade total (PT) e a densidade do solo (Ds). Para caracterizar as áreas, foi utilizada a estatística descritiva, a fim de obter a média e o erro padrão dos atributos. No solo argiloso, a aplicação de vinhaça promoveu aumento no teor de COS nas duas camadas avaliadas, além de proporcionar aumento no valor do DMP em aproximadamente 1 mm e no valor do IEA em cerca de 10%, também nas duas camadas avaliadas. Além disso, a aplicação de vinhaça não alterou os atributos de porosidade nas duas camadas. Já no solo arenoso, o COS foi incrementado apenas na camada 0,00-0,10m, o DMP não foi alterado sob aplicação da vinhaça e no IEA a vinhaça proporcionou resultados que contribuíram diretamente para reduzir a erodibilidade deste solo. Houve também interferência da vinhaça na Macro, e por consequência, na PT e Ds, na camada de 0,10-0,20m. Assim, concluiu-se que a aplicação de vinhaça, por longo período na soqueira da cana-de-açúcar promoveu a manutenção da qualidade estrutural do solo argiloso e incrementou a qualidade estrutural do solo arenoso.

Palavras-Chave: manejo do solo, agregação do solo, porosidade.

STRUCTURAL QUALITY OF CLAYSOIL AND SANDY SOIL UNDER A LONG PERIOD OF APPLICATION OF VINASSE IN SUGARCANE RATOON

ABSTRACT

Vinasse is one of the by-products from the sugar-energy industry and is made up of high fertilizer potential due to the presence of organic carbon and cations. The objective was to evaluate the effects of vinasse application, for a long period, on the structural quality of clay soil and sandy soil. Two adjacent agricultural areas were evaluated, one with a clayey textured soil (490 g kg⁻¹ of clay) and the other with a sandy textured soil (860 g kg⁻¹ of sand). In each of the soils, two managements were evaluated, one with vinasse application for more than 10 years, and another without application, totaling four areas evaluated in this work. After cutting the sugarcane and applying vinasse annually on ratoon, 10 points were sampled in each of the four areas, in two layers, 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m depth. In the deformed samples, collected with the aid of a dutch auger, soil organic carbon (SOC) was determined. In the samples with preserved structure collected with the aid of a straight shovel, the weighted average diameter (WAD) and aggregate stability index (ASI) were determined, and in the undisturbed samples collected with the aid of the Uhland sampler, in volumetric rings with dimensions of 0.05 x 0.05 m, macroporosity (Macro), total porosity (TP), microporosity (Micro) and soil bulk density (SBD) were determined. To characterize the areas, descriptive statistics were used in order to obtain the mean and standard error of the attributes. In the clayey soil, the application of vinasse promoted an increase in the SOC content in the two evaluated layers, in addition to providing an increase in the value of the WAD by approximately 1 mm and the ASI by approximately 10%, also in both evaluated layers. Furthermore, the application of vinasse did not change the porosity attributes in the two layers. In the sandy soil, the SOC was increased only in the 0.00-0.10m layer, the WAD was not altered under vinasse application and in the ASI vinasse provided results that directly contributed to reduce the erodibility of this soil. There was also interference of vinasse in Macro, and consequently, in TP and SBD, in the 0.10-0.20 m layer. Thus, it was concluded that the application of vinasse for a long period on sugarcane promoted the maintenance of the structural quality of the clay soil and increased the structural quality of the sandy soil.

Keywords: soil management, aggregation, porosity.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas mais importantes no cenário agrícola do mundo. É uma planta originária da Papua Nova Guiné, com centros originários também na atual China e Índia, que se espalhou pelo mundo com adaptabilidade significativa nos climas subtropicais e tropicais (OECD, 2016). Atualmente, as cultivares de cana-de-açúcar são plantadas em quase todos os continentes do mundo, sendo uma das matérias-primas utilizadas na produção de açúcar e do biocombustível etanol.

O etanol é um dos biocombustíveis mais utilizados no mundo, com projeção de aumento de consumo em cerca de 12% até 2031, segundo a projeção da OECD (2022). O biocombustível é utilizado principalmente em misturas com a gasolina, de maneira geral, como uma alternativa para reduzir a dependência energética de fontes de combustível fóssil, incrementando a matriz energética. Isto ocorre especialmente em países em desenvolvimento, como é o cenário atual do Brasil (OECD, 2022).

A crescente de carros *flex-fuel* tende a ser o principal dreno do etanol no mundo até 2035 (HTAUTO, 2021; MARTON, 2021) e, portanto, a tendência é que aumente sua produção a partir da biomassa de cana-de-açúcar devido às vantagens de conversão energética e de produção, atingindo o patamar de 23% de produção de etanol a partir da matéria-prima da cana-de-açúcar em 2031 (OECD, 2022).

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. A produção canavieira no País para a safra 2023/2024, de acordo com a Conab (2023), é estimada em cerca de 637,1 milhões de toneladas, produzidas em uma área estimada de 8,41 milhões de hectares. A produção de etanol estimada para a mesma safra é de 27,53 bilhões de litros provenientes da moagem da cana-de-açúcar (CONAB, 2023). O principal Estado produtor é São Paulo, sendo destaque tanto em área produtiva quanto em produção na atividade canavieira do País, responsável por mais de 50% da produção da matéria-prima e abrigando a maioria das usinas sucroenergéticas do País (CONAB, 2023).

O processo de produção de etanol nas usinas sucroenergéticas origina tanto o etanol hidratado quanto o etanol anidro. Qualquer que seja o etanol a ser produzido, uma das etapas necessárias para sua produção é um complexo processo de fermentação. As leveduras atuam sobre o caldo clarificado originando o vinho. Este, por sua vez, é direcionado para as colunas de destilação. Esse processo gera um resíduo chamado de vinhaça (CETESB, 2015), em proporção média de 12 litros para cada litro de etanol produzido

(UNICA, 2019), sempre levando em consideração as condições de cultivo e das variáveis industriais.

A vinhaça constitui-se de sólidos suspensos e íons, principalmente potássio, além de contar com alto teor de carbono (CHEAVEGATTI-GIANOTTO, 2011). Esse alto teor de carbono se refere à quantidade de carbono orgânico encontrado na vinhaça, que segundo Moran-Salazar *et al.* (2016) é de 26 a 32 g L⁻¹. Além disso, a vinhaça tem caráter poluente devido à demanda bioquímica de oxigênio variando de 20.000 a 35.000 mL L⁻¹ (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007). Isso se caracteriza como um indicador indireto do alto potencial de matéria orgânica (CARPANEZ *et al.*, 2022). Diante disso, a vinhaça expressa alto potencial fertilizante, pois quando aplicada no solo, terá a matéria orgânica mineralizada, podendo ser fonte de macro e micronutrientes e atuar como agente cimentante, interferindo nas propriedades físicas do solo, permitindo que a vinhaça seja utilizada como insumo nas próprias áreas de produção de cana-de-açúcar (CANELLAS *et al.*, 2003; SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; CHEAVEGATTI-GIANOTTO *et al.*, 2011; CARPANEZ *et al.*, 2022). Assim, a vinhaça vem sendo classificada pelo setor como um subproduto muito importante para a produção agrícola.

Contudo, o potencial de resposta dos solos é diferente, uma vez que, em solos arenosos foi relacionado ao aumento da estabilidade dos agregados, por conta da baixa participação da argila, enquanto nos solos argilosos ocorreu o aumento do diâmetro dos agregados, devido à aplicação da vinhaça por longo período (TASSIM *et al.*, 2021).

O uso de maneira cuidadosa e criteriosa da vinhaça é fundamental para que esse subproduto interfira positivamente tanto nos atributos químicos, quanto físicos do solo. Sua aplicação é regulamentada por uma série de leis federais e estaduais, dentre elas a Norma Técnica P4.231/2005, na qual segundo a Cetesb (2015), são estabelecidas condições de aplicação para minimizar o impacto ambiental e ainda poder reduzir os custos envolvidos com a aquisição de adubos minerais (RESENDE *et al.*, 2006), contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de vinhaça, por longo período, na qualidade estrutural do solo argiloso e do solo arenoso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vinhaça é dos 27 resíduos produzidos na indústria sucroenergética um dos mais abundantes. Estima-se que adjunto ao incremento da produção de etanol para 2030, haverá co-geração de aproximadamente 540 bilhões de litros de vinhaça por ano (UNICA, 2019).

Com isso, constata-se a necessidade de garantir o destino adequado a este subproduto. A alta carga poluente da vinhaça se dá devido a expressiva quantidade em matéria orgânica nela contida e, conseqüentemente, sua alta demanda bioquímica de oxigênio. Além disso, ela é produzida a temperaturas muito altas, em torno de 80 °C a 90 °C e a presença de metais pesados e poluentes orgânicos, também contribuem para o impacto ambiental (ZANAROLLI, 2018).

Entretanto, diversos estudos são encontrados com relação ao potencial químico da aplicação da vinhaça como insumo, em especial para o potássio, apontando para o incremento do teor deste na camada superficial (0 - 20 cm) e subsuperficial (20 - 40 cm) no cultivo da cana-de-açúcar (BEBÉ *et al.*, 2009; CARDIN, SANTOS, ESCARMÍNIO, 2016). Esta adubação potássica por meio da

aplicação de vinhaça proporciona vantagens econômicas, com a diminuição da adubação mineral potássica em até 100%, e ecológicas, especialmente por dar à vinhaça um destino de descarte/reutilização.

Além disso, o uso da vinhaça como insumo, aumenta a capacidade de troca catiônica do solo, melhorando a retenção e mineralização de nutrientes (FUESS, GARCIA, 2014). A vinhaça também atua sobre a microbiota do solo favorecendo o desenvolvimento dos microrganismos no solo devido ao seu potencial orgânico e nutricional, servindo de substrato para o seu crescimento (HOARAU *et al.*, 2018).

Sabe-se que, considerando a demanda bioquímica de oxigênio da vinhaça, ela tem uma alta concentração de matéria orgânica mineralizável pelos microrganismos, podendo então atuar como agente de formação e de estabilidade dos agregados (HOARAU *et al.*, 2018).

Os agregados qualificam o solo, uma vez que estão diretamente relacionados com a estruturação do solo. Manter a estrutura do solo melhora a aeração e a infiltração de água, e conseqüentemente, pode reduzir a erodibilidade e as perdas de solo por erosão (NEVES, FELLER, KOUAKOUA, 2006).

A formação dos agregados do solo é dependente da quantidade de argilas floculadas e dos agentes cimentantes disponíveis. Isso se comprova pela medida dos agentes cimentantes como o carbono orgânico do solo, que, segundo Vicente *et al.* (2012), se correlaciona diretamente, de forma positiva, com o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo.

Os agregados têm a capacidade de formar poros entre si, chamados de macroporos, e internamente, chamados de microporos. Segundo os estudos de Zolin *et al.* (2011), comprova-se que a porosidade total do solo aumenta à medida em que a quantidade de carbono orgânico do solo aumenta, uma vez que este influi diretamente na agregação do solo. Além disso, a maior porosidade total infere em mudanças na densidade do solo (DS), onde maiores valores de carbono orgânico implicam em menores valores de densidade, justamente pela correlação de massa e volume (ZOLIN *et al.*, 2011).

A estabilidade de agregados no solo é a medida da resistência do solo aos agentes erosivos (NICHOLS; TORO, 2011). Portanto, medidas que influenciam nesse índice, alteram consideravelmente a possibilidade de destruição dos agregados e a dispersão do solo, causados principalmente pelo impacto da gota de chuva.

Segundo Vasconcelos *et al.* (2010), sabe-se que sistemas de cultivo que tendem a aumentar o teor de matéria orgânica do solo, contribuem tanto para o aumento da estabilidade de agregados, quanto para a agregação, portanto, estabelecem uma melhoria geral na qualidade estrutural do solo. Isto tende a ocorrer e ser mais evidenciado com a manutenção e incremento desses sistemas por longos períodos.

Diante dos resultados positivos quanto à melhoria da qualidade estrutural do solo, verifica-se a necessidade da avaliação a longo prazo para se confirmar a sua repetibilidade e/ou incremento. Ademais, diante dos prospectos positivos na produção de etanol, que se estima atingir 50 bilhões de litros produzidos em 2030, reforça-se a necessidade de encontrar uso adequado para os subprodutos

produzidos a partir do processo de fabricação, em especial, a vinhaça que será cogerada em volume aproximado de 540 bilhões de litros por ano (UNICA, 2019).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado próximo às coordenadas de latitude 21°47'40"S, longitude 48°10'32"W e altitude média de 675 metros, na cidade de Araraquara, Estado de São Paulo. O clima da região é Cwa, segundo a classificação de Köppen, subtropical úmido com inverno seco e verão quente, com temperatura média de 22,8°C do mês mais quente, temperatura média de 16,8°C do mês mais frio e precipitação média de 1.352 mm.

Foram utilizadas duas áreas agrícolas adjacentes que apresentavam solos com classes texturais distintas, ambas destinadas à produção de cana-de-açúcar há mais de 20 anos. A área 1, composta por solo de textura argilosa, apresenta 420 g kg⁻¹ de areia, 90 g kg⁻¹ de silte e 490 g kg⁻¹ de argila e a área 2, composta por solo de textura arenosa, apresenta 860 g kg⁻¹ de areia, 60 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de argila.

A área total com cultivo de cana-de-açúcar avaliada foi de aproximadamente 20 ha, sendo 10 ha com solo de textura argilosa e 10 ha com solo de textura arenosa. Dentro de cada área com classe textural distinta, há 5 ha com cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça há mais de 10 anos

e 5 ha com cultivo de cana-de-açúcar sem aplicação de vinhaça. Assim, as áreas agrícolas avaliadas foram denominadas: área com solo argiloso com aplicação de vinhaça, área com solo argiloso com aplicação de vinhaça, área com solo arenoso com aplicação de vinhaça, área com solo arenoso sem aplicação de vinhaça.

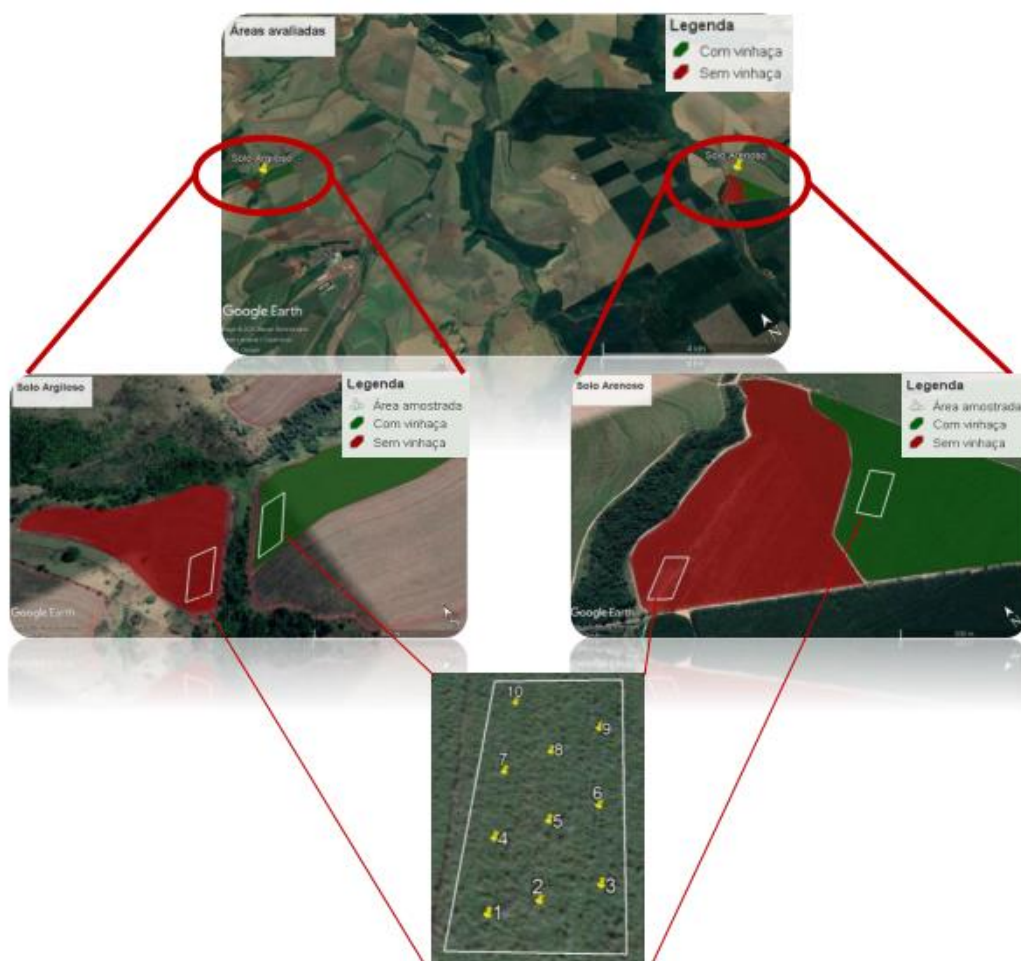


Figura 1: Adaptado de CARDOSO *et al.*, 2022 referente à localização das áreas avaliadas, dos manejos realizados e dos pontos de amostragem.

A cultura da cana-de-açúcar é conduzida nessas duas áreas há mais de 20 anos, seguindo as recomendações fitotécnicas específicas, assim como as correções e as adubações do solo (SPIRONELLO *et al.*, 1997). Durante as operações de preparo de solo nas renovações das áreas, realiza-se a aplicação

de corretivos, com o propósito de elevar a saturação por bases a 70% e a adubação de plantio realiza-se de acordo com os resultados da análise química de solo. O plantio da cana-de-açúcar ocorre no sistema mecanizado, sendo o espaçamento entre-linhas de 1,5 m. Todas as operações agrícolas, durante o ciclo produtivo da cana-de-açúcar são realizadas nas linhas de cultivo.

Os tratos culturais da soqueira da cana-de-açúcar também seguem as recomendações fitotécnicas específicas e as correções e as adubações do solo também são realizadas segundo Spironello *et al.* (1997). Contudo, nas áreas com aplicação de vinhaça, o fornecimento de potássio ocorre exclusivamente via fertirrigação, sem nenhuma adição de adubo potássico mineral.

Nessas áreas com aplicação de vinhaça, realiza-se a adubação da soqueira, com o propósito de aplicar 80 kg ha^{-1} de N e 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Para o fornecimento de K, aplica-se em torno de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, com teor médio de $4,83 \text{ kg m}^{-3}$ de K_2O , por meio do conjunto rolo-bomba e canhão aspersor autopropelido, aplicando 338 kg ha^{-1} de K_2O por ano. A aplicação da vinhaça ocorre sempre no período da safra, entre os meses de abril a novembro, não ultrapassando 15 dias após o corte mecanizado da cultura.

Nas áreas sem aplicação de vinhaça, realiza-se a adubação da soqueira, aplicando-se 80 kg ha^{-1} de N, 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O . A colheita da cana-de-açúcar é mecanizada sem a queima da palha e normalmente é realizada no mês de maio na área de solo argiloso e no mês de agosto na área de solo arenoso.

A composição química média da vinhaça aplicada anualmente na soqueira da cana-de-açúcar é de $0,55 \text{ kg m}^{-3}$ de N, $0,16 \text{ kg m}^{-3}$ de P_2O_5 , $4,83 \text{ kg}$

m^{-3} de K_2O , $0,96 \text{ kg m}^{-3}$ de CaO , $1,10 \text{ kg m}^{-3}$ de MgO , $0,10 \text{ kg m}^{-3}$ de Na , $3,90 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu , $29,88 \text{ mg dm}^{-3}$ de Fe , $4,79 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mn , $2,37 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn e pH de 4,21.

As amostras de solo foram coletadas nas quatro áreas no mês de novembro de 2021. Portanto, as coletas foram realizadas após a colheita da cana-de-açúcar e após a aplicação anual de vinhaça. A amostragem de solo foi realizada em 10 pontos de cada área nas camadas 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m de profundidade, e a 0,20 m da linha da cana-de-açúcar, totalizando 80 pontos amostrados.

Nas amostras deformadas, coletadas com o auxílio do trado holandês, foi determinado o teor de carbono orgânico do solo (COS) segundo a metodologia de Yeomans e Bremner (1988). Nas amostras com estrutura preservada que foram coletadas com o auxílio da pá reta, foram determinados o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) e o índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) segundo os métodos propostos por Nimmo e Perkins (2002). Nas amostras indeformadas coletadas com o auxílio do amostrador tipo Uhland, em anéis volumétricos com dimensões de $0,05 \times 0,05 \text{ m}$, foram determinados a densidade do solo (D_s), a porosidade total (PT), a macroporosidade (Macro) e a microporosidade (Micro) do solo, de acordo com Teixeira *et al.* (2017).

Para caracterizar as áreas foi utilizada a estatística descritiva simples por meio do programa Excel, a fim de obter a média e o erro padrão da média dos atributos COS, DMP, IEA, Macro, Micro, PT e D_s .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que no solo argiloso, a aplicação de vinhaça promoveu aumento no teor de carbono orgânico do solo (COS) nas duas camadas avaliadas (Figura 2). Na camada 0,00-0,10 m, o aumento foi em torno de 10 g kg⁻¹ e na camada 0,10-0,20 m em torno de 5 g kg⁻¹. Na camada superficial, além da vinhaça, a palhada da cana-de-açúcar também pode ter contribuído para o incremento do COS devido ao seu grande potencial de aporte originário da constituição do material (BENEDETTI, 2014). Este acúmulo de carbono no solo argiloso possivelmente foi facilitado pela reduzida atividade microbiana aeróbica e suas características metabólicas específicas neste tipo de solo (PAUL, 2007).

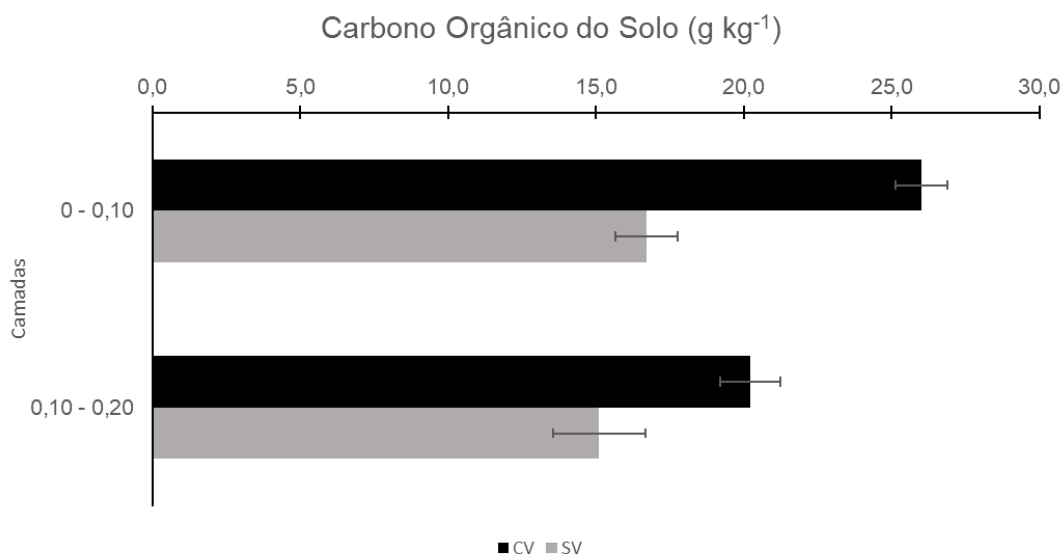


Figura 2: Média e erro padrão da média do carbono orgânico do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

O solo argiloso tem maior capacidade em interagir com a matéria orgânica e potencializar seu acúmulo (BITTAR, FERREIRA, CORRÊA, 2013), quando comparado com o solo arenoso. Assim, com a maior disponibilidade de argilas floculadas, o solo argiloso apresenta um cenário favorável a incrementar a agregação. Comprovadamente a isso, observou-se que a aplicação da vinhaça proporcionou aumento no valor do DMP em aproximadamente 1 mm e do IEA em cerca de 10%, nas duas camadas avaliadas (Figuras 3 e 4).

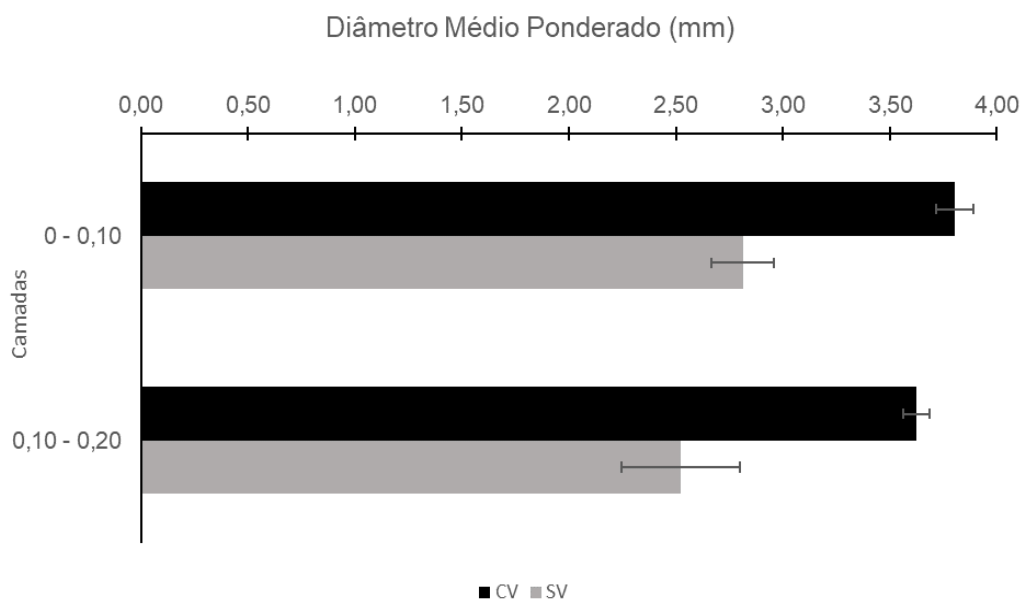


Figura 3: Média e erro padrão da média do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

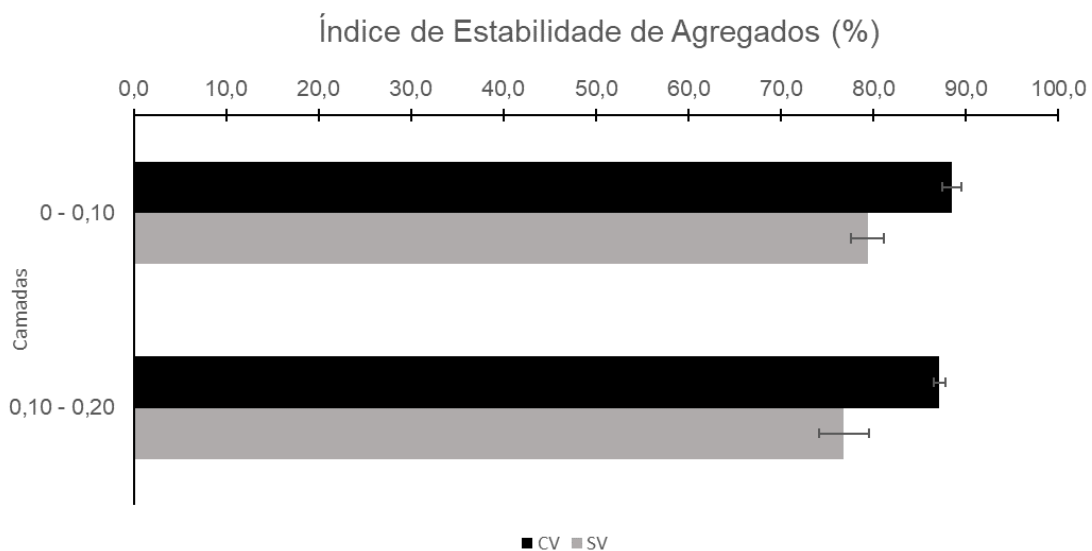


Figura 4: Média e erro padrão da média do índice de estabilidade de agregados do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Quanto aos atributos relacionados à porosidade do solo argiloso, observou-se que a macroporosidade (Figura 5) foi em torno de $0,150 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na camada de 0,0-0,10m, enquanto na camada de 0,10-0,20m foi de $0,102 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área sem vinhaça e $0,062 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área com vinhaça, respectivamente, a microporosidade, a porosidade total e densidade do solo foram semelhantes nas duas camadas avaliadas.

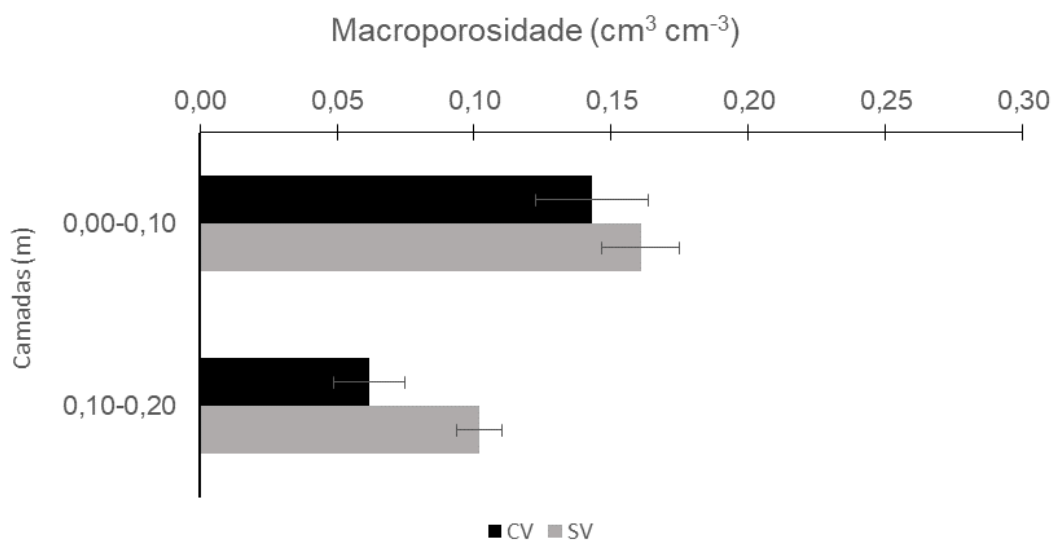


Figura 5: Média e erro padrão da média da macroporosidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

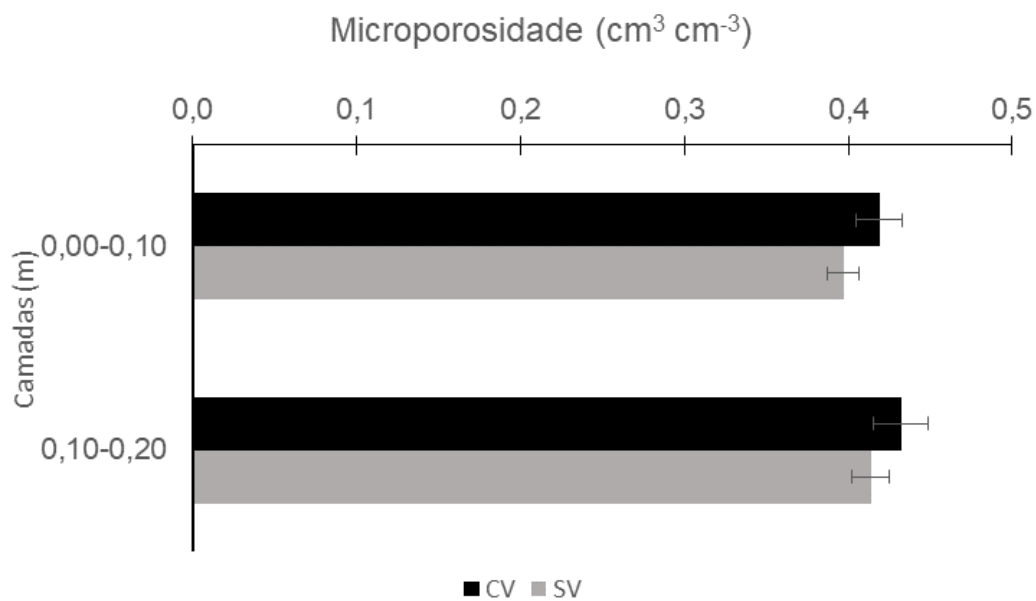


Figura 6: Média e erro padrão da média da microporosidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

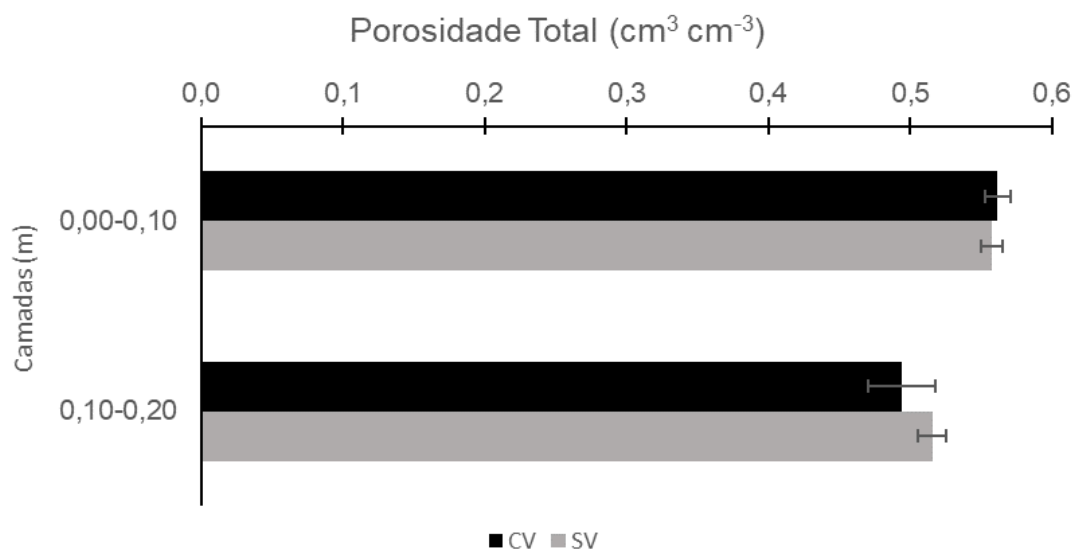


Figura 7: Média e erro padrão da média da porosidade total do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

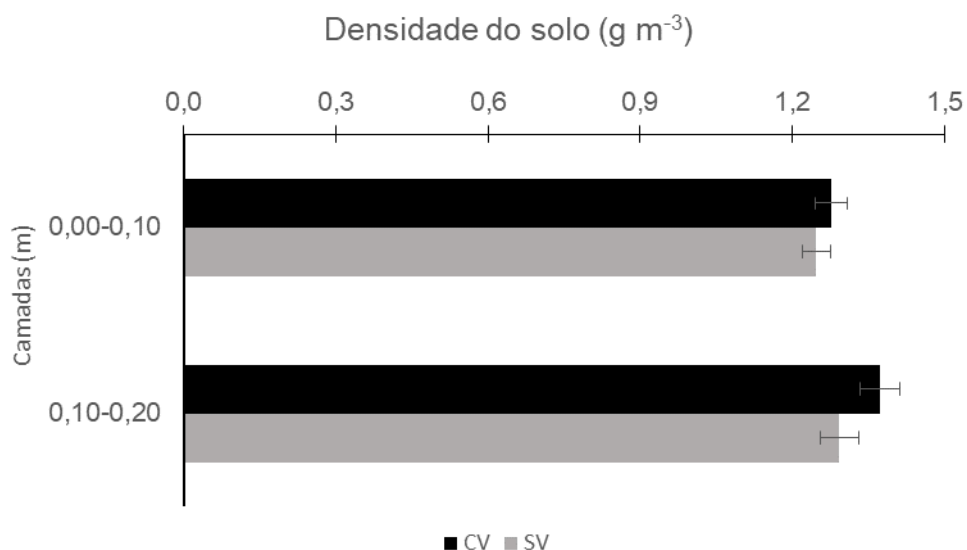


Figura 8: Média e erro padrão da média da densidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Por sua vez, no solo arenoso, o COS foi incrementado apenas na camada 0,00-0,10 m, onde se determinou 4,6 g kg⁻¹ na área sem aplicação de vinhaça e 6,8 g kg⁻¹ sob a aplicação da vinhaça (Figura 9), podendo este incremento, também estar associado aos benefícios oriundos da manutenção da palhada sob a superfície do solo. Segundo Yamaguchi (2015), a aplicação de vinhaça acelera a decomposição da palhada de cana-de-açúcar por proporcionar maior quantidade nutrientes aos microrganismos e com isso, proporciona o dobro de entrada de carbono para o solo.

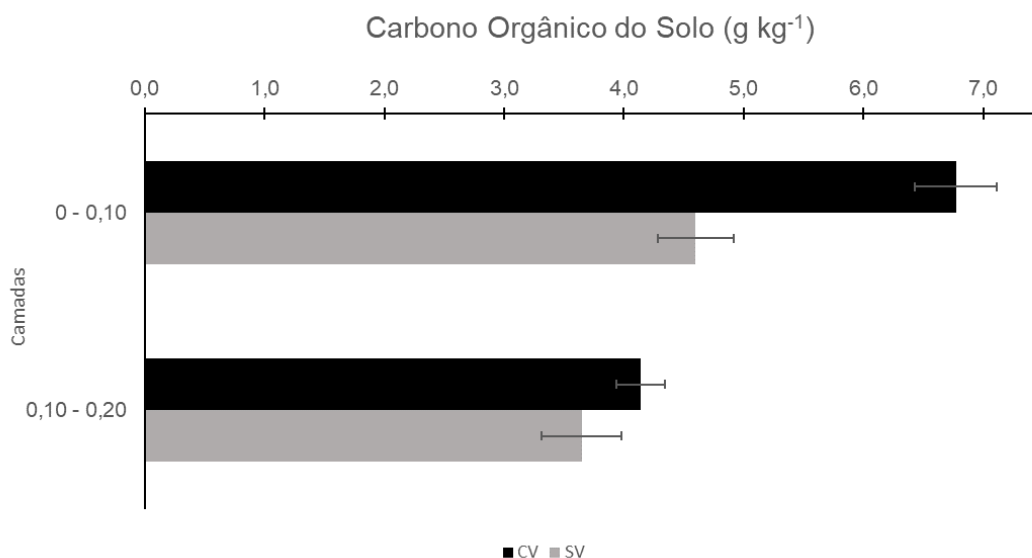


Figura 9: Média e erro padrão da média do carbono orgânico do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Apesar deste incremento no teor de carbono (COS), o DMP dos agregados não foi alterado sob aplicação da vinhaça (Figura 10), possivelmente devido ao menor teor de argila na constituição textural do solo, quando comparado ao solo argiloso.

Por outro lado, em relação ao IEA, a vinhaça proporcionou resultados evidentes, com aumentos expressivos, o que contribui diretamente para reduzir a erodibilidade do solo arenoso, considerada limitante para o cultivo de diversas culturas. Na camada 0,00-0,10 m, sem a aplicação de vinhaça, o valor foi 44% de agregados estáveis, enquanto com a aplicação da vinhaça o valor do IEA foi 75% (Figura 11). Este resultado é associado à contribuição do COS na camada superficial que estimula a atividade microbiana levando a estabilização dos agregados do solo (HOARAU *et al.*, 2018).

Na camada subsuperficial, 0,10-0,20 m, observou-se o valor de agregados estáveis passando de 42% para 70% com a aplicação da vinhaça (Figura 11). Não havendo incremento do COS nesta camada, o resultado é passível de ser associado à presença do sistema radicular (SALTON; TOMAZI, 2014).

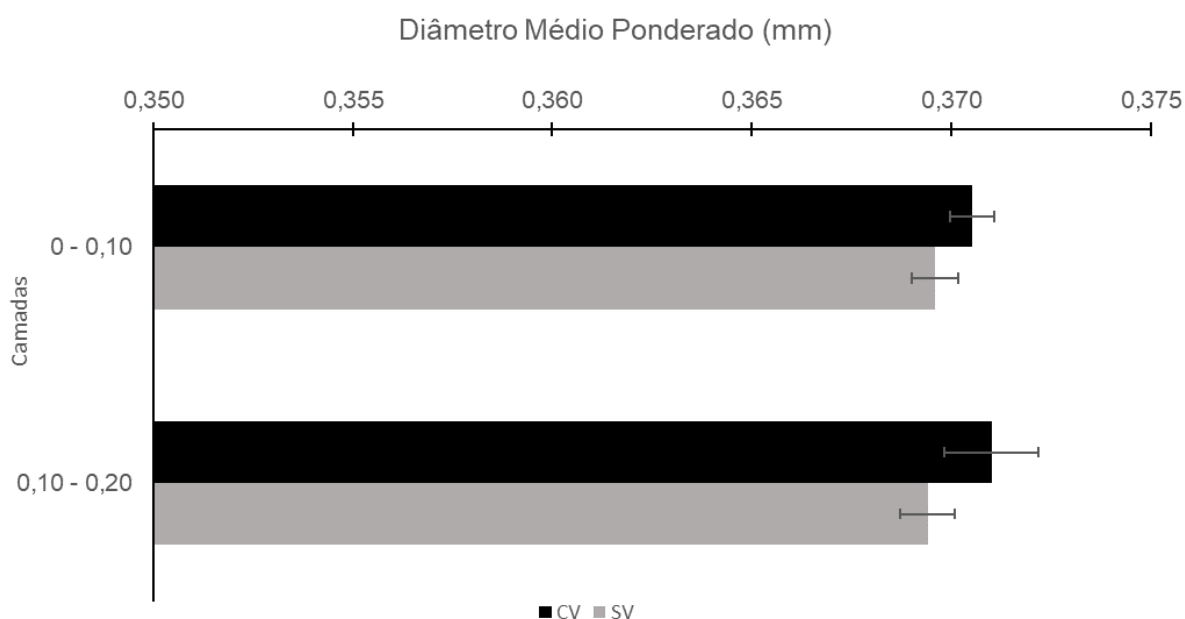


Figura 10: Média e erro padrão da média do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

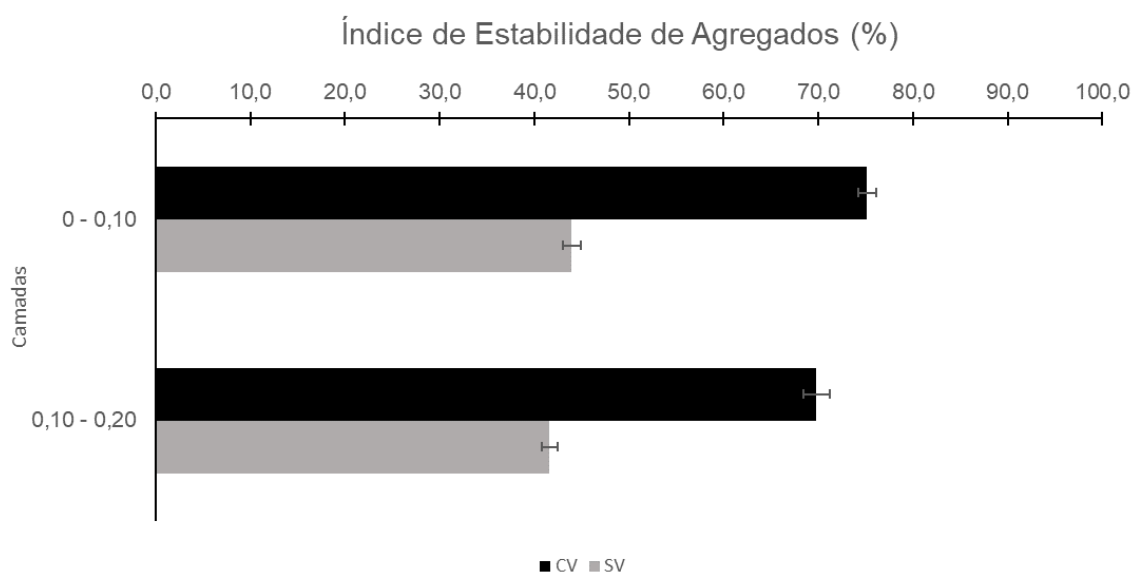


Figura 11: Média e erro padrão da média do índice de estabilidade de agregados do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Observou-se que a macroporosidade na camada de 0,0-0,10m foi em torno de $0,180 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e na segunda camada, 0,10-0,20 m, variou de $0,207 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área sem aplicação de vinhaça para $0,161 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área com aplicação de vinhaça (Figura 12). Já em relação à microporosidade, não se observou variação sob a aplicação de vinhaça nas duas camadas avaliadas (Figura 13).

A alteração encontrada na macroporosidade foi suficiente para promover mudanças na porosidade total também na camada de 0,10-0,20m, variando de $0,380 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área sem aplicação de vinhaça para $0,333 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na área com a aplicação de vinhaça (Figura 14). Já a densidade do solo, uma vez sendo inversamente proporcional à porosidade total, sofreu incremento nos valores na

camada subsuperficial (Figura 15), variando de $1,670 \text{ g cm}^{-3}$ na área sem a aplicação de vinhaça para $1,785 \text{ g cm}^{-3}$ na área com a aplicação de vinhaça. Todavia, as alterações nas relações massa/volume do solo arenoso não prejudicaram o potencial produtivo desse solo.

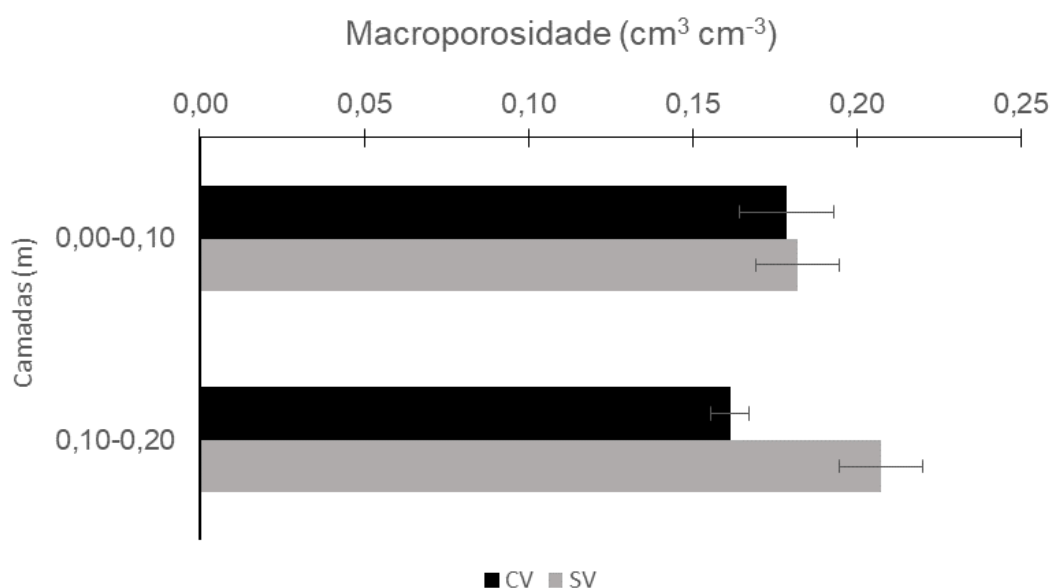


Figura 12: Média e erro padrão da média da macroporosidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

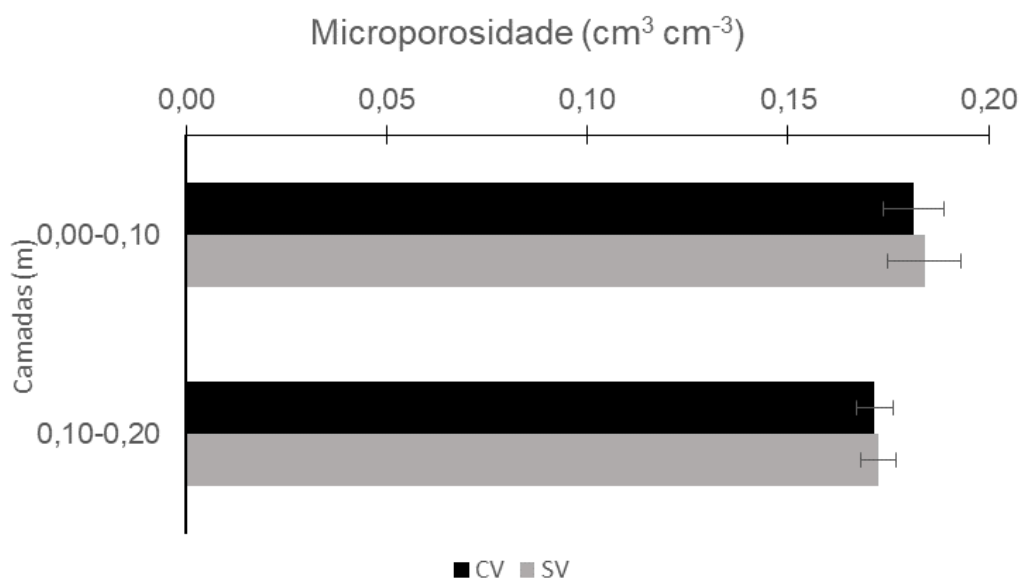


Figura 13: Média e erro padrão da média da microporosidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

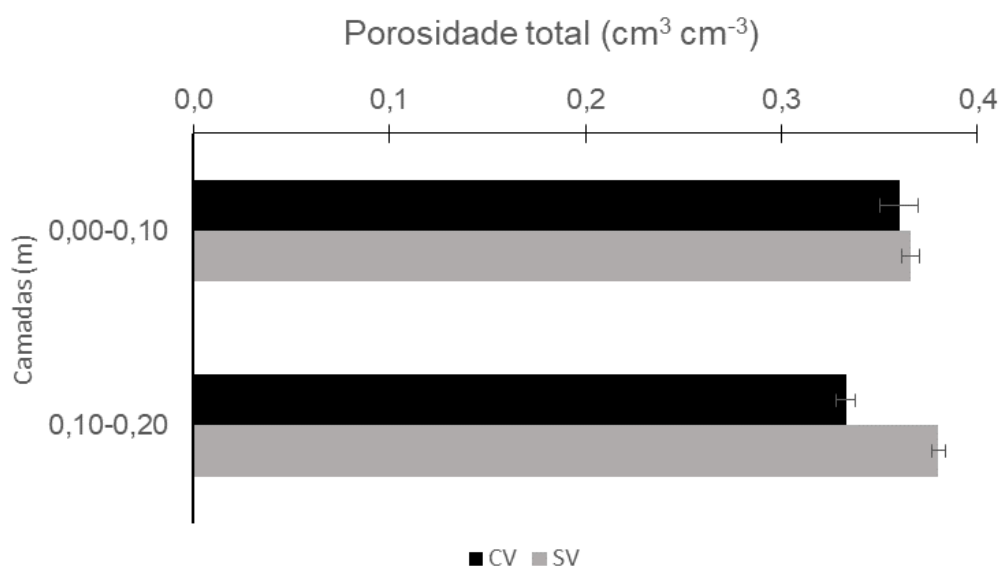


Figura 14: Média e erro padrão da média da porosidade total do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

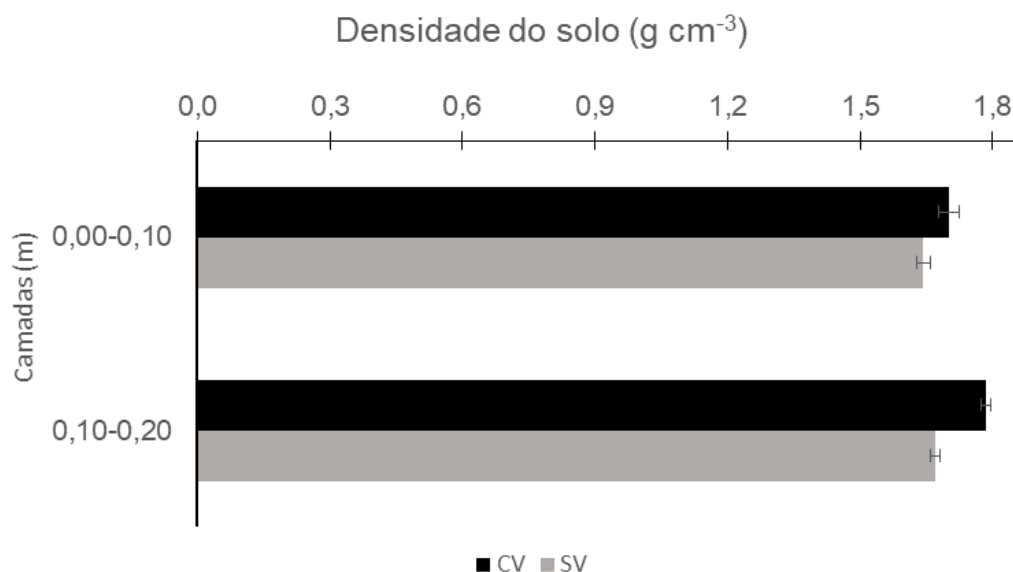


Figura 15: Média e erro padrão da média da densidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Nas duas áreas agrícolas avaliadas, os resultados são passíveis de serem diretamente relacionados com as condições intrínsecas de cada classe textural (Tabela 1). O COS e o DMP apresentam comportamentos semelhantes em ambos os solos. Nas áreas sem aplicação de vinhaça são encontrados menores valores quando comparados aos encontrados nas áreas com a aplicação de vinhaça. Contudo, o COS é armazenado em maior quantidade no solo argiloso uma vez que a velocidade de mineralização da matéria orgânica é menor neste tipo de solo. Isso também se comprova quando se verifica a análise química dos dois solos (Tabela 3). No solo argiloso a quantidade de matéria orgânica é em média de 23,01 g dm⁻³ nas áreas sem a aplicação de vinhaça, e 32,52 g dm⁻³ na área com aplicação de vinhaça. Já no solo arenoso, devido à maior velocidade de mineralização há menos acúmulo, apresentando na área sem aplicação de

vinhaça a média de $12,08 \text{ g dm}^{-3}$ e na área com a aplicação de vinhaça de $14,28 \text{ g dm}^{-3}$. Já o DMP no solo argiloso apresenta valores maiores que os encontrados no solo arenoso, expressando as maiores quantidades de argila floculadas disponíveis neste tipo de solo.

Tabela 1: Média dos parâmetros COS, DMP e IEA analisados dos solos argiloso e arenoso com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Parâmetros	COS (g kg^{-1})				DMP (mm)				IEA (%)			
	Argiloso		Arenoso		Argiloso		Arenoso		Argiloso		Arenoso	
Prof. (m)	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV
0 - 10	26,00	16,70	6,77	4,59	3,80	2,81	0,37	0,36	88,50	79,38	75,15	43,94
10 - 20	20,23	15,11	4,14	3,64	3,62	2,52	0,37	0,36	87,15	76,85	69,79	41,57

O resultado mais expressivo dos parâmetros de agregação analisados é o IEA, que se torna mais visível no solo arenoso, devido às suas limitações naturais, como por exemplo, a erodibilidade. Sob a aplicação da vinhaça o IEA do solo arenoso é expressivamente modificado, tendo seus resultados parecidos com aqueles encontrados no solo argiloso sem aplicação de vinhaça, dando condição a este tipo de solo a resistir às forças erosivas.

Os parâmetros estudados sobre a porosidade do solo (Tabela 2) também expressam as condições intrínsecas de cada classe textural. A Micro no solo argiloso é maior quando comparada ao solo arenoso uma vez que este tem naturalmente uma maior quantidade de agregados. Consequentemente, sua PT é maior e influencia, devido a isto, uma DS menor.

Com os resultados, a vinhaça assume um papel relevante como insumo agrícola dentro da canavieira e sua utilização por longos períodos na soqueira da cana-de-açúcar é um manejo sustentável independente da classe textural do solo (CARDOSO *et al.*, 2022). Todavia, tendo em vista que o solo arenoso foi favorecido em uma condição de limitação natural, a vinhaça assume um

relevante papel como instrumento de manejo em solos com essa característica, uma vez que o torna menos susceptível à erosão.

Tabela 2: Média dos parâmetros MACRO, MICRO, PT e Ds analisados dos solos argiloso e arenoso com aplicação de vinhaça (CV) e sem aplicação de vinhaça (SV) nas duas camadas avaliadas.

Parâmetros	Macro ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)				Micro ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)				PT ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)				Ds (g cm^{-3})			
	Argiloso		Arenoso		Argiloso		Arenoso		Argiloso		Arenoso		Argiloso		Arenoso	
Prof. (m)	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV	CV	SV
0 - 10	0,14	0,16	0,17	0,18	0,41	0,39	0,18	0,18	0,56	0,55	0,36	0,36	1,27	1,24	1,70	1,64
10 - 20	0,06	0,10	0,16	0,20	0,43	0,41	0,17	0,17	0,49	0,51	0,33	0,38	1,37	1,29	1,78	1,67

Tabela 3: Média da análise química para os solos argiloso e arenoso com e sem a aplicação de vinhaça.

Solo	Tipo de Análise	Prof. (m)	M.O g dm^{-3}	pH CaCl_2	P (Resina) mg dm^{-3}	K ⁺ (Resina) $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Ca ²⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Mg ²⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Al ³⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	V%
Argiloso	Com Vinhaça	0 - 10	31,91588	27,414	0,4485	7,033	2,359	78,5945072	0,001	5,998
		10 - 20	33,14349	26,6139	0,42825	7,221	2,366	78,4847793	0,001	5,992
	Sem Vinhaça	0 - 10	23,36513	17,8837	0,303	5,779	2,174	79,697593	0,001	6,066
		10 - 20	23,02195	18,6932	0,2955	5,777	2,095	78,5071334	0,001	6,072
Arenoso	Com Vinhaça	0 - 10	14,85932	14,7358	0,069	1,414	0,624	60,6779777	0,001	5,542
		10 - 20	13,70842	13,4912	0,057	1,255	0,501	58,305686	0,001	5,573
	Sem Vinhaça	0 - 10	12,02601	14,5295	0,036	0,819	0,231	46,0820044	0,0318	5,171
		10 - 20	12,14351	14,8293	0,042	0,846	0,251	46,7562931	0,0149	5,302

5. CONCLUSÕES

O efeito da aplicação de vinhaça por longo período na soqueira da cana-de-açúcar promoveu a manutenção da qualidade estrutural do solo argiloso e incrementou a qualidade estrutural do solo arenoso.

REFERÊNCIAS

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média.** Piracicaba: ESALQ, 1986. 85p. Tese Doutorado.

BEBÉ, Felizarda V. et al. **Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]. 2009, v. 13, n. 6.

BENEDETTI, Marcelo Muniz. **A Palhada de cana-de-açúcar em condição de Cerrado: Decomposição e Disponibilidade de Nutrientes.** 2014. 78 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BITTAR, Ingrid Mara Bicalho; FERREIRA, Adão de Siqueira; CORRÊA, Gilberto Fernandes. **Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação.** Biosci. J, [s. /], v. 29, n. 6, p. 1952-1960, dez. 2013.

Camargo, O. A, et al. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 1983. 30p. Boletim Técnico, n.76.

Canellas, L. P. et al. **Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]. 2003, v. 27, n. 5 pp. 935-944. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>>.

CARDIN, Claudinei Alberto; SANTOS, Carlos Henrique dos e ESCARMÍNIO, Marcos. **Antonio. Impacts of vinasse and methods of sugarcane harvesting on the availability of K and carbon stock of an Argisol.** Revista Ceres [online]. 2016, v. 63, n. 1.

CARDOSO, E.N.L., et al. **What Are the Impacts of Long-Term Vinasse Application on Clayey and Sandy Soils?.** Sugar Tech 24, 602–613 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01059-2>

CARPANEZ, T.G.; et al. **Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: opportunities and environmental risks.** Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 832, p. 154998, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154998>.

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. Norma Técnica P4.231 – **Vinhaça - critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. 3 ed. Alto de Pinheiros, 2015. 15 p.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, Adriana; et al. **Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in brazil**. *Tropical Plant Biology*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 62-89, 22 fev. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12042-011-9068-3>.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento -. **Acompanhamento da safra brasileira: cana de açúcar**. 1. ed. Brasília: Conab, 2023. 11 v.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. **Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation**. *Journal of Environmental Management*, v. 145, p.210- 229, dez. 2014.

HOARAU, J. et al. **Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource**. A review. *Journal of Water Process Engineering*, v. 24, p.11-25, ago. 2018.

HTAUTO. **All vehicles will soon be able to run on ethanol**. 2021. Disponível em: <https://auto.hindustantimes.com/auto/news/all-vehicles-will-soon-be-able-to-run-on-ethanol-says-nitin-gadkari-41640490520695.html>.

Moran-Salazar, RG, et al. **Utilização da vinhaça como corretivo do solo: consequências e perspectivas**. SpringerPlus 5, 1007 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2410-3>

MARTON, Fábio. **95% de carros a combustão em 2035: plano da indústria aposta tudo em biocombustíveis**. 2021. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/11/03/carros-e-tecnologia/95-de-carros-a-combustao-em-2035-plano-da-industria-aposta-tudo-em-biocombustiveis/>.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. **Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso**. *Ciência Rural*, v. 36, p. 1410-1415, 2006.

NICHOLS, K. A.; TORO, M. **A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation**. *Soil and Tillage Research*, v. 111, n. 2, p. 99-104, 2011.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. **Aggregate stability and size distribution**. In: DANE, J. H. TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Part 4, p. 317-328.

OCDE/FAO - Organisation for Economic Co-operation and Development. **OCDE-FAO Agricultural Outlook 2022-2031**, OECD Publishing, Paris, 2022. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>.

OECD In. Chapter 2: Sugarcane (*Saccharum* spp.). In: OECD. **Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment**. 6. ed. Paris: OECD Publisher, 2016. p. 69-163.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Third edition. Burlington, USA: Academic Press, 2007, 532p.

RESENDE, A. S, *et al.* **Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado nas características tecnológicas da cultura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 937-941, 2006.

SALTON, Júlio Cesar; TOMAZI, Michely. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Dourados: Embrapa, 2014.

SILVA, M.A.S.; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 11, p. 108-114, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662007000100014&lng=en &nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662007000100014&lng=en&nrm=iso).

SPIRONELLO, A. *et al.* Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, (Boletim técnico, 100), p.237-239, 1997.

TASSIM, Isis Albuquerque **Agregação e carbono orgânico de solos cultivados com cana-de-açúcar sob aplicação de vinhaça**. 2021. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Ciências da Produção Agrícola, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021.

TEIXEIRA, P.C., *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p., 2017.

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Vinhaça: biofertilizante e energia sustentável**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://unica.com.br/nota/vinhaca-biofertilizante-e-energia-sustentavel/>.

VASCONCELOS, R. F. B. *et al.* **Estabilidade de agregados de um Latossolo amarelo distrocesso de tabuleiro costeiro sob diferentes**

aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 34, p. 309-316, 2010.

VICENTE, T. F. da S. *et al.* **Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]. 2012, v. 16, n. 11 [Acessado 22 Outubro 2022] , pp. 1215-1222.

YAMAGUCHI, C. S. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar em função da quantidade aportada e da aplicação de vinhaça.** 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo de Campinas – IAC.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.** Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZANAROLLI, Priscila Pelarin. **Tratamento da Vinhaça e Avaliação do seu Poder Fertilizante em Tomate Cereja (*Solanum lycopersicum* Var; *Cerasiforme*);** 2018; Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Engenharia Química) - Universidade São Francisco; Orientador: Jose Pedro Thompson Junior.

ZOLIN, C. A, *et al.* (2011). **Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo:** In: Características do solo. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, 15(1), 22–28. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000100004>