

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

**AGREGAÇÃO E RELAÇÕES MASSA/VOLUME DE SOLOS SOB
APLICAÇÃO DE VINHAÇA LOCALIZADA NA LINHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

GUILHERME DE OLIVEIRA PATRICIO SEARA

**JABOTICABAL – SP
2024**

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

**AGREGAÇÃO E RELAÇÕES MASSA/VOLUME DE SOLOS SOB
APLICAÇÃO DE VINHAÇA LOCALIZADA NA LINHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

GUILHERME DE OLIVEIRA PATRICIO SEARA

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal (SP) como parte
das exigências para graduação em
Engenharia Agrônômica

JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2024

S439a Seara, Guilherme de Oliveira Patricio
Agregação e relações massa/volume de solos sob aplicação de vinhaça localizada na linha da cana-de-açúcar / Guilherme de Oliveira Patricio Seara. -- Jaboticabal, 2024
35 p. : tabs.

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

1. Agronomia. 2. Agroindústria canavieira. 3. Agricultura sustentável. 4. Vinhaça Localizada. 5. Manejo de solo. I. Título.

GUILHERME DE OLIVEIRA PATRICIO SEARA

AGREGAÇÃO E RELAÇÕES MASSA/VOLUME DE SOLOS SOB APLICAÇÃO DE
VINHAÇA LOCALIZADA NA LINHA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: ProP. Dr^a. Carolina Fernandes

Área de Concentração: Física do solo

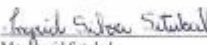
Data da defesa: 02/08/2024

☒ Aprovado
☐ Reprovado

Banca Examinadora:


Prof. Dr^a. Carolina Fernandes
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal


Prof. Dr. Leandro Borges Lemos
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal


Ms. Ingrid Setubal
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

24 / 09 / 24


Prof. Dr. José Eduardo Corá
Chefe do Departamento

DEDICO

À minha família, em especial aos meus pais **Wagner Seara** e **Cyntia de Oliveira Patricio Seara** por todos ensinamentos e lições durante a vida, por nunca terem tido dúvidas sobre mim e o meu futuro. Sou grato por terem me mostrado os caminhos a serem seguidos e por terem fornecido toda a base de caráter, ética e personalidade que formei. Nada do que construí até o presente momento teria sido possível sem vocês.

À minha professora **Carolina Fernandes** e à minha querida colega **Eduarda Gonçalves da Silva Ramos**, por todos os ensinamentos e paciência acerca da pesquisa e estudos, além da grande amizade formada.

AGRADECIMENTOS

De início, gostaria de salientar primeiro à Deus, por ter sido meu protetor e meu guia durante todo esse tempo.

Aos meus pais pelo amor incondicional por eles demonstrado, sendo a minha motivação diária.

Aos meus familiares, Amanda de Oliveira Patricio Seara, Mayron Patricio Santos, Kaik Patricio Santos, Gabriela Goldschmidt Piazzentim, Tiago Pagotto, Andrea de Oliveira Patricio por tamanho amor e felicidade que trazem em minha vida.

Aos meus avós Tomas Seara Novoa (*in memoriam*), Izilida Rodrigues de Oliveira Patricio, Teresa Pinto Seara e Sydney de Oliveira Patricio Filho, por tamanho ensinamento de vida.

À República A Casa-Lar, pelos anos de vivências e todas as experiências ali vividas.

À minha orientadora, Carolina Fernandes, pelos anos de aprendizado e convivência, onde pude me tornar um estudando e uma pessoa melhor, servindo de referência e inspiração.

À minha amiga, Eduarda Gonçalves da Silva Ramos, por todos os ensinamentos, companheiros, risadas e desafios passados juntos.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio de estudo através da concessão da bolsa.

Ao Grupo de Pesquisa em Física do Solo e todos os seus membros, pelos ensinamentos.

À UNESP FCAV, englobando todos os profissionais que fizeram a diferença na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos mais próximos, que compuseram uma das partes mais importantes da minha vida, trazendo experiências que fizeram a diferença para quem eu sou hoje, estando ao meu lado desde o começo, meus sinceros agradecimentos: Pedro Lukas Paludetti, Gabriel Terra Laudino, Otávio Henrique da Silva, João Victor Bazan Pinto, Guilherme Gonçalves de Carvalho, João Guilherme Santos Mariano, Pedro Losque da Silveira.

À todos os colegas de graduação que compartilharam momentos comigo e agregaram de alguma forma.

À todos os familiares e conhecidos, pelas energias boas e consideração por mim

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	32

AGREGAÇÃO E RELAÇÕES MASSA/VOLUME DE SOLOS SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA LOCALIZADA NA LINHA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A vinhaça é um subproduto advindo do setor sucroenergético e o seu uso ocorre por conta da presença de potássio e carbono orgânico em sua composição. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de vinhaça localizada e os efeitos da aplicação em área total, a fim de compreender os impactos da aplicação perante a qualidade estrutural do solo argiloso e do solo arenoso, perante os critérios avaliativos de macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT), densidade do solo (Ds), índice de estabilidade dos agregados do solo (IEA), carbono orgânico (CO) e diâmetro médio ponderado (DMP). A pesquisa deste trabalho foi realizada a partir de duas áreas voltadas para o cultivo da cana-de-açúcar ao longo de mais de 20 anos, com a aplicação de vinhaça por mais de 10 anos, sendo divididas em área 1, em que possui textura argilosa, (530 g kg⁻¹ de argila) e a segunda área (área 2) de textura arenosa (850 g kg⁻¹ de areia). Em geral, cada área recebeu dois tratamentos, um com aplicação de vinhaça localizada (VL) (30 m³ha⁻¹). E outro com aplicação de vinhaça total (VT) (dose: 70 m³ha⁻¹). As amostras foram coletadas em novembro de 2022 após a colheita da cultura instalada, a coleta correspondeu a 10 pontos por camada (0,00-0,10m e 0,10 ,20m) em ambas as áreas e tratamentos, correspondendo a 80 pontos amostrados. No solo argiloso, observou-se uma variação do DMP apenas na camada de 0,00-0,10m, quando aplicada a vinhaça de maneira localizada, em torno de 0,5 mm menor quando comparada a aplicação total. Mudança que também ocorreu no atributo de CO, em que a VL resultou num menor valor na camada mais superficial do solo, e na macroporosidade, que apresentou valores menores quando aplicada a VL, assim afetando também a porosidade total (PT) na mesma camada. O IEA, microporosidade, resistência à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) não sofreram nenhuma alteração significativa nos parâmetros avaliados. Por outro lado, no solo arenoso, apenas a Macro e a porosidade total apresentaram valores estatisticamente diferentes quando aplicada a vinhaça de maneira localizada. Concluindo que a aplicação de vinhaça localizada pode ser recomendada para ambos os solos, tendo em vista que as alterações citadas não interferem no desenvolvimento da cultura.

Palavras-Chaves: manejo do solo, porosidade, qualidade do solo.

AGGREGATION AND MASS/VOLUME RATIOS OF SOILS UNDER LOCALIZED VINASSE APPLICATION IN THE SUGARCANE ROW

ABSTRACT

Vinasse is a by-product of the sugar-energy sector and its use is due to the presence of potassium and organic carbon in its composition. The aim was to evaluate the effects of localized vinasse application and the effects of total area application, in order to understand the impacts of application on the structural quality of clay soil and sandy soil, using the evaluation criteria of Macroporosity (Macro), Microporosity (Micro), Total Porosity (PT), Soil Density (Ds), Soil Aggregate Stability Index (SAI), Organic Carbon (OC) and Weighted Mean Diameter (WAD). The research for this work was carried out on two areas that have been cultivated with sugar cane for more than 20 years, with vinasse applied for more than 10 years, divided into area 1, which has a clayey texture (530 g kg⁻¹ of clay) and the second area (area 2) with a sandy texture (850 g kg⁻¹ of sand). In general, each area received two treatments, one with localized vinasse application (VL) (30 m³ ha⁻¹). And another with total vinasse application (VT) (dose: 70 m³ ha⁻¹). The samples were collected in November 2022 after the crop had been harvested. The collection corresponded to 10 points per layer (0.00-0.10m and 0.10,20m) in both areas and treatments, corresponding to 80 points sampled. In the clay soil, there was a variation in DMP only in the 0.00-0.10m layer when vinasse was applied in a localized manner, around 0.5 mm less when compared to total application. This change also occurred in the CO attribute, where VL resulted in a lower value in the topsoil, and in Macroporosity, which showed lower values when VL was applied, thus also affecting total porosity (PT) in the same layer. IEA, Microporosity, Penetration Resistance and Soil Density did not undergo any significant changes in the parameters evaluated. On the other hand, in the sandy soil, only Macro and Total Porosity showed statistically different values when vinasse was applied locally. The conclusion is that localized vinasse application can be recommended for both soils, given that the changes mentioned do not interfere with crop development.

Keywords: soil management, porosity, soil quality.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar foi uma das primeiras grandes culturas a serem estabelecidas em território nacional. Sua introdução no Brasil data de 1520, com a chegada dos portugueses, que objetivavam à produção de açúcar, um produto de alto valor na época (Raízen, 2021).

Ao longo do tempo, e acompanhando o desenvolvimento do país, o cultivo de cana-de-açúcar tem sido aprimorado no que diz respeito à produtividade, aumento de terras destinadas ao cultivo, investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de novas cultivares e produtos químicos e biológicos, que visam melhorar a produção.

Esses investimentos têm como objetivo atingir novos tetos produtivos a cada safra. Na safra 2024/2025, por exemplo, foram processados até o dia 15 de maio 95,42 milhões de toneladas de material (Unica, 2024).

A produção de cana-de-açúcar é dividida em safras, sendo a deste ano 2024/2025, 685.857 milhões de toneladas, tendo uma redução de 27 milhões de toneladas, aproximadamente, 3,8% em comparação à safra anterior (Conab, 2024), que pode ser explicado por fatores ambientais relacionados à diminuição dos índices pluviométricos, relacionado às ondas de calor que atingiram as áreas.

Além disso, o Brasil ocupa a primeira posição no ranking de maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo, e o segundo maior produtor de etanol, correspondendo a mais de 27 bilhões de litros produzidos, de acordo com a Conab (2024). A região que se destaca na produção de cana é a Sudeste e São Paulo corresponde a mais de 36% da produção (Nachiluk, K., 2020).

Segundo a Conab (2024), o estado de São Paulo produziu cerca de 355.090 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra atual.

A cultura em questão, além de sua grande produção, impacta positivamente em outros âmbitos da sociedade. No caso da geração de emprego, o setor sucroenergético é responsável por diversas admissões safras após safra. Ademais, a produção de etanol pode ser considerada uma energia limpa, pois é capaz de remover carbono da atmosfera (Guarengghi et al., 2023).

O crescimento da produção de cana-de-açúcar e etanol está diretamente relacionado ao uso crescente do biocombustível. O etanol é amplamente utilizado na indústria automotiva, tanto para abastecer carros quanto para ser misturado com a gasolina.

Essa mistura resulta em maior octanagem e reduz a dependência da gasolina como fonte de combustível (OECD, 2022).

A formação do etanol é dividida por múltiplas etapas e cada uma ocasiona a formação de um subproduto deste processo, a destilação, por sua vez resulta na formação da vinhaça ou vinhoto, principal subproduto de etanol (Cetesb, 2015). Anterior a esse momento, ocorre a fermentação, processo realizado pelas leveduras perante o caldo clarificado que origina o vinho, este por sua vez será destilado e assim é gerado a vinhaça. Todo esse processo gera a formação de aproximadamente 12 litros de vinhaça para cada litro de etanol (Ramos, 2018), valores que chamam atenção tendo em vista o volume de etanol produzido pelo Brasil esse ano.

A vinhaça é descrita como um material pastoso, de coloração escura e mau cheiro e sabe-se que na sua composição, são encontrados altos teores de potássio e carbono. Tal resíduo não possui tratamento especial para

ser descartado, por conta desses fatores é aplicado nas áreas agrícolas (Salazar et al., 2016).

O uso da vinhaça no setor sucroenergético é amplamente utilizado, tendo em vista os benefícios trazidos pelo subproduto em relação a concentração de nutrientes que podem auxiliar no aumento da produtividade, por conta de teores elevados de potássio ($>10 \text{ kg m}^{-3}$) e carbono orgânico (26 a 32 gL^{-1}) (Moran Salazar et al., 2016).

Além disso, o uso da vinhaça também ocasiona na economia de fertilizantes químicos e na destinação ideal para o subproduto, uma vez que mal manejado, a alta demanda bioquímica de oxigênio que esse composto possui, pode torná-lo um agente poluidor do ambiente e lençóis freáticos (Silva; Griebeller; Borges, 2007). Logo, a aplicação de maneira consciente de vinhaça gera benefícios relacionados a disponibilização de macronutrientes e micronutrientes, por conta das suas características relacionadas à fertilidade (Carpanez et al., 2022).

A utilização da vinhaça emprega diversas vantagens quanto às características físicas do solo, uma vez que adicionada ao solo, os teores de matéria orgânica nela presente através de fungos é transformada em húmus, responsável por neutralizar o pH do solo (Silva et al., 2007). Além de ser mineralizada e servir como agente cimentante.

Ademais, o estudo desse trabalho foi acerca da aplicação localizada na linha da cultura e seus comparativos em relação a aplicação em área total. A nível de comparação, a utilizada de vinhaça de maneira localizada resulta no uso de maneira mais homogênea pela área, assim sendo de maneira mais racional e com um volume menor (Sordi, 2022), tendo em vista que essa ação

compreende na diminuição da dependência de fertilizantes químicos, que possuem sua matéria prima importada e conseqüentemente com valor alto. No caso da adubação potássica, a vinhaça é capaz de substituí-la de maneira completa (Vitti; et al., 2019) e assim o setor sucroenergético não depende da aquisição desse fertilizante.

A aplicação de vinhaça localizada na linha da cana-de-açúcar gera vantagens relacionadas a viabilidade de utilização em áreas distantes da usina, uma vez que a aplicação pode ser feita com volume reduzido (57%), quando comparada a aplicação em área total.

Por outro lado, é de suma importância compreender as respostas que os diferentes tipos de solo apresentam com o uso de vinhaça. Sabe-se que os solos arenosos possuem uma resposta diferente dos solos argilosos (Tassim et al., 2021). Por isso, este trabalho também se dedica a estudar essas diferenças.

Ao final das informações, nota-se a necessidade de cuidados, sendo de suma importância a realização de pesquisas e estudos perante a utilização de vinhaça. A busca por conhecimentos nessa área é necessária para que realizem comparativos entre os métodos de aplicação e as respostas de cada solo. Atingindo resultados que demonstrem as vantagens e desvantagens relacionadas a utilização de vinhaça localizada e o uso em área total em solos argilosos e arenosos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A vinhaça, corresponde a um subproduto advindo da produção de etanol pelo setor sucroenergético. A síntese de 1 litro de etanol corresponde numa produção 12 vezes maior de vinhaça. Na safra de 2023/2024, segundo a Conab,

foram produzidos 35,61 bilhões de litros de etanol, ocasionando na formação de 427,32 bilhões de litros do subproduto em questão.

Levando em consideração tamanho volume produzido, é de suma importância que encontre-se um destino ideal para a vinhaça, sendo a partir desse momento em que o resíduo em questão passa a ser utilizado como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar, devido seu potencial nutritivo relacionado à grande concentração de potássio. Além disso, a vinhaça é composta por 93% de água e 7% de sólidos, o que reduz o consumo de água da cultura quando o subproduto é aplicado (Wheeler et al., 2021; Hoarau et al., 2018).

A adubação potássica via vinhaça, é capaz de suprir as necessidades da cana-de-açúcar, além de acarretar uma série de vantagens (Martins; Oliveira, 2016), sendo econômicas por conta de não depender da aquisição de fertilizantes químicos e consequentemente do mercado externo.

A vinhaça, além de ser rica em potássio, possui uma boa concentração de macronutrientes como o cálcio (Ca), magnésio (Mg), micronutrientes e alto teor de carbono orgânico. Todos esses componentes contribuem para um bom cultivo (Santos Rodrigues et al., 2020).

Além disso, o subproduto em questão é rico em matéria orgânica, assim sendo responsável por interferir em diversas propriedades do solo, especificamente a física. Essa alteração se dá na melhora da infiltração e da retenção de água (Araújo, 2021), características que remetem a presença de agregados no solo.

A formação dos agregados do solo, resultante da união de partículas primárias de origem orgânica e/ou mineral (como areia, silte e argila), é

influenciada por processos físicos, químicos e biológicos. Essa união determina as propriedades emergentes de toda a estrutura do solo, sendo crucial para o seu funcionamento. O fenômeno da agregação impacta a dinâmica relacionada ao sequestro de carbono, retenção de nutrientes e fluxo de microrganismos (Júnior *et al.*, 2019; Kampf *et al.*, 2012).

Entre os agregados presentes no solo, existem os chamados macroporos que correspondem aos poros responsáveis pela drenagem e os microporos, localizados no interior dos agregados e que assumem a função de reter a água no solo (Brady, 1979, cit in Ribeiro *et al.*, 2008). A porosidade total, por sua vez é a soma da macroporosidade e microporosidade, segundo Zolin *et al.* (2011), ela está diretamente ligada a presença de carbono orgânico, que por sua vez possui uma correlação positiva com o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, confirmando a importância de manter uma boa concentração de matéria orgânica no solo, tendo em vista a importância da mesma na estabilidade dos agregados (Silva *et al.*, 2006).

A Densidade do solo (D_s) também está relacionada à concentração de carbono orgânico do solo, mas de maneira inversa, segundo Zolin *et al.*, 2011, com o aumento dos valores de carbono no solo, a densidade tende a diminuir.

Dentre os fatores em que a vinhaça também interfere, nota-se a alteração no que diz respeito a atividade microbiana do solo, uma vez que os organismos presentes possuem uma melhora nas condições de vida, por conta do caráter orgânico, auxiliando o seu desenvolvimento (Hoarau *et al.*, 2018).

Ademais, a vinhaça também interfere nas propriedades químicas e biológicas do solo quando incorporada junto ao mesmo, ocasionando na síntese de húmus pelos microrganismos presentes. Esse processo contribui para

melhorar as propriedades do solo e promover um ambiente mais favorável para o desenvolvimento das plantas (Oliveira et al., 2010; Souza et al., 2015).

A aplicação de vinhaça localizada surge como uma opção, que visa reduzir os volumes aplicados nas áreas, reduzindo 57% do volume e assim permitindo o transporte do mesmo para áreas mais distantes das destilarias de etanol (Sordi, 2022), possibilitando de maneira racional e coerente a fertirrigação e por consequência uma melhora em todos os parâmetros citados.

Por outro lado, a vinhaça possui uma característica de suma importância quando se trata da demanda bioquímica de oxigênio, esse fator ocorre por conta da alta concentração de matéria orgânica presente em sua composição. Outro fator de destaque é a presença de metais pesados em sua composição, devido ao modo em que é produzida (Gatto, 2003). Por conta disso, é necessária muita atenção no que diz respeito à aplicação do vinhoto nas áreas de cultivo e assim um devido descarte.

Com base nas informações citadas, compreende-se a necessidade de estudos acerca da vinhaça como biofertilizante e seus impactos nos aspectos físicos, químicos e biológicos. Mas que existam ainda mais estudos no que diz respeito à vinhaça e seus métodos de aplicação, uma vez que as informações sobre esse tema ainda são reduzidas e que é necessário compreender as vantagens e desvantagens relacionadas a utilização de vinhaça localizada e o uso em área total. Área de estudo que possui um potencial de impacto na produção de cana-de-açúcar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas localizadas próximas às coordenadas geodésicas 21°47'40" S, 48°10'32" W e altitude média de 664 metros, localizada na cidade de Araraquara. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente, com temperatura média do mês mais quente de 22,8 °C, temperatura média do mês mais frio de 16,8 °C e precipitação média anual de 1352 mm.

As duas áreas agrícolas apresentam solos com classes texturais distintas, área 1 com solo de textura argilosa (530 g kg⁻¹ de argila, 350 g kg⁻¹ de areia e 120g kg⁻¹ de silte, na camada 0 - 0,20 m de profundidade) e área 2 com solo de textura arenosa (110 g kg⁻¹ de argila, 850 g kg⁻¹ de areia e 40 g kg⁻¹ de silte, na camada 0 - 0,20 m de profundidade) e são destinadas à produção de cana-de-açúcar por mais de 20 anos, com colheita de cana crua mecanizada desde 2005.

Nas duas áreas agrícolas (área 1 e área 2), a destruição da soqueira do ciclo anterior da cana-de-açúcar foi realizada por eliminador mecânico. O preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar foi localizado, com mobilização do solo apenas na linha de plantio, por meio da operação de escarificação no sentido das linhas, com a utilização de equipamento com pares de hastes espaçados de 1,50 m, com mobilização de 0,80 m de largura e profundidade de trabalho de 0,30 m.

Após o preparo do solo foi realizada a aplicação de corretivos e a adubação de plantio de acordo com os resultados da análise química do solo. Posteriormente, foi realizado o plantio da cana-de-açúcar no sistema mecanizado, com espaçamento entre linhas de 1,5 m. O plantio da cana-de-açúcar ocorreu em março de 2018, com a cultivar RB866928 na área com solo

argiloso e a cultivar RB867515 na área com solo arenoso. A cultura foi conduzida segundo as recomendações fitotécnicas específicas e as correções e as adubações do solo realizadas segundo Spironello et al. (1997).

Após o primeiro corte da cana-de-açúcar, em outubro de 2019, dentro de cada área, solo com textura argilosa (área 1) e solo com textura arenosa (área 2), foram instalados dois tratamentos, com aplicação de vinhaça em área total (VT) e com aplicação de vinhaça localizada na linha da cultura (VL).

Para os dois tratamentos, a adubação da soqueira foi realizada com o propósito de aplicar 80 kg ha^{-1} de N e 20 kg ha^{-1} de P. Para o fornecimento de K, na área VT, foi aplicado $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, com teor médio de 4% de K_2O , por meio do conjunto rolo-bomba e canhão aspersor autopropelido. Para o fornecimento de K, na área VL, foi aplicado $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, com teor médio de 4% de K_2O , por meio do conjunto trator e tanque de aplicação localizada, direcionados na linha da cultura, com largura de 0,40 m.

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.

O experimento foi instalado em 30.000 m^2 (3,0 ha), sendo 15.000 m^2 para cada área experimental, solo com textura argilosa (área 1) e solo com textura arenosa (área 2). Cada área experimental, compreende 7.500 m^2 para cada um dos dois tratamentos (VT e VL). Cada tratamento está constituído de 100 linhas de cana-de-açúcar, espaçadas de 1,5 m entre linhas, com 50 m de comprimento. A área útil de cada tratamento está representada por 80 linhas de cana-de-

açúcar com 30 m de comprimento, ou seja, 3.600 m². Portanto, a bordadura está composta pelos 10 m no início e 10 m no final da linha de cana-de-açúcar e por 10 linhas de cana-de-açúcar na parte superior e 10 linhas de cana-de-açúcar na parte inferior da área destinada ao tratamento em questão.

A aplicação da vinhaça ocorreu no período da safra, entre os meses de abril a novembro, não ultrapassando 15 dias após o corte mecanizado da cultura. Os atributos do solo foram avaliados após cada corte da cana-de-açúcar. Esse projeto de pesquisa objetivou avaliar o solo após o quarto corte da cultura.

As amostras de solo foram coletadas nas duas áreas (solo argiloso e solo arenoso) com os dois tratamentos (VT e VL) no mês de novembro de 2022, após a colheita da cana-de-açúcar. A amostragem do solo, em cada uma das duas áreas, foi realizada na área útil de cada tratamento (VT e VL, área 1 e área 2), com 10 pontos em cada camada amostrada (0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m de profundidade), totalizando 80 pontos amostrados.

Nas amostras com estrutura preservada, coletadas com o auxílio de pá reta, a 0,20 m da linha da cana-de-açúcar, foram determinados o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) (Nimmo; Perkins, 2002) e o índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) (Nimmo; Perkins, 2002). Nas amostras deformadas, coletadas com o auxílio do trado holandês, a 0,20 m da linha da cana-de-açúcar, foi determinado o teor de carbono orgânico do solo (COS) (Yeomans; Bremner, 1988).

Nas amostras indeformadas, coletadas a 0,20 m da linha da cana-de-açúcar com o auxílio do amostrador tipo Uhland, em anéis volumétricos com dimensões de 0,05 x 0,05 m, foram determinados a densidade do solo (Ds), a porosidade total (PT), a macroporosidade (Macro) e a microporosidade (Micro)

do solo, de acordo com Teixeira et al. (2017) e a resistência do solo à penetração (RP) (Tormena; Silva; Libardi, 1998), após submeter as amostras à tensão de 100 hPa, utilizando-se um penetrômetro eletrônico estático de laboratório.

Para caracterizar as áreas e os tratamentos, foi utilizada a estatística descritiva, a fim de obter a média e o erro padrão da média dos atributos DMP, IEA, COS, Ds, PT, Macro, Micro e RP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos, foi possível compreender que no solo argiloso, a aplicação de vinhaça de maneira localizada resultou em um valor menor do DMP na camada superficial (0,00-0,10m) quando comparada à aplicação em área total, a variação foi de 2,995mm (VL) para 3,500mm (VT) (Figura 1). O motivo dessa variação pode ser explicado por conta do impacto dos jatos de vinhaça, uma vez que aplicadas de maneira mais próxima ao solo, podem ter gerado uma desagregação do mesmo, ou até mesmo uma diminuição do tamanho dos agregados. A justificativa em questão se mantém por conta de que ao avaliar a segunda camada (0,10-0,20m), não obtivemos alterações significativas. Tal efeito é comparado com o que acontece com as gotas de chuva, que afetam apenas as camadas mais superficiais do solo (Cassol & Lima, 2003).

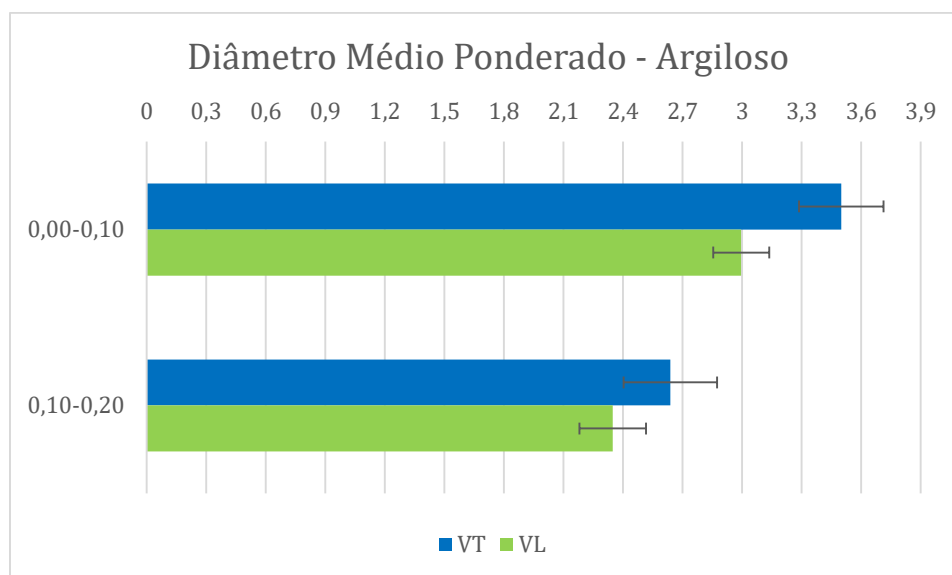


Figura 1: Média e erro padrão da média do diâmetro médio ponderado do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A avaliação do CO presente no solo argiloso demonstrou o mesmo padrão encontrado nos valores de DMP, observou-se uma redução nos valores de CO apenas na camada superficial com a aplicação da vinhaça de maneira localizada, $19,371 \text{ g kg}^{-1}$ (VL) e $21,328 \text{ g kg}^{-1}$ (VT) (Figura 2). A ocorrência desse efeito já era esperada, partindo do princípio que a quebra de agregados facilita a liberação do carbono protegido no interior dos agregados e consequentemente a sua perda (Machado, 2005).

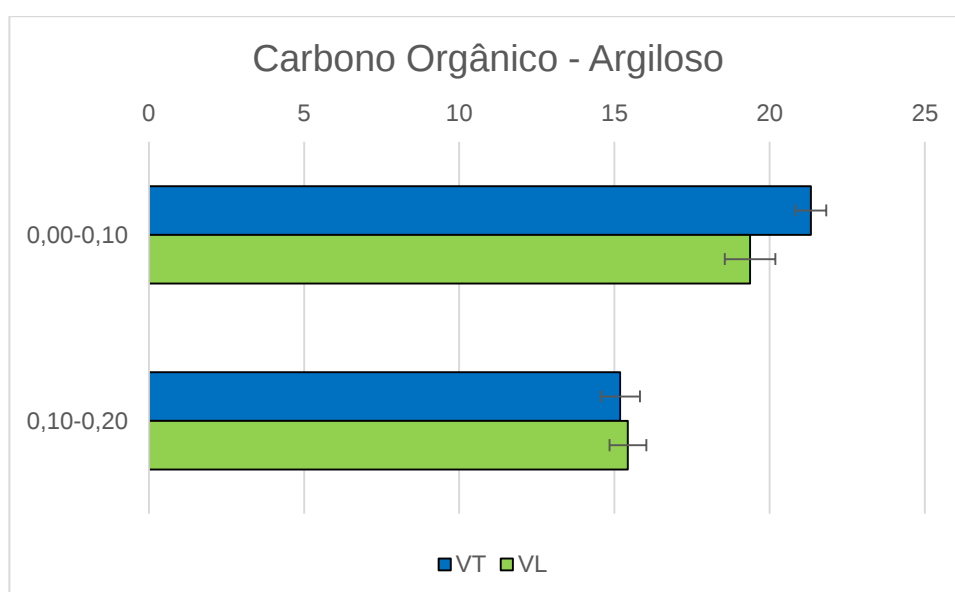


Figura 2: Média e erro padrão da média do carbono orgânico do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

Ao tratar das avaliações sobre o IEA do solo argiloso, não ocorreram variações significativas nos valores quanto ao modo de aplicação, seja ele de maneira localizada ou em área total, nas duas camadas que foram avaliadas, 0,00-0,10m e 0,10-0,20m (Figura 3). A não alteração se dá por conta da ótima relação que esse tipo de solo tem com a matéria orgânica (Bittar, Ferreira, Corrêa, 2013), tendo melhor acúmulo da mesma quando comparado com o solo arenoso.

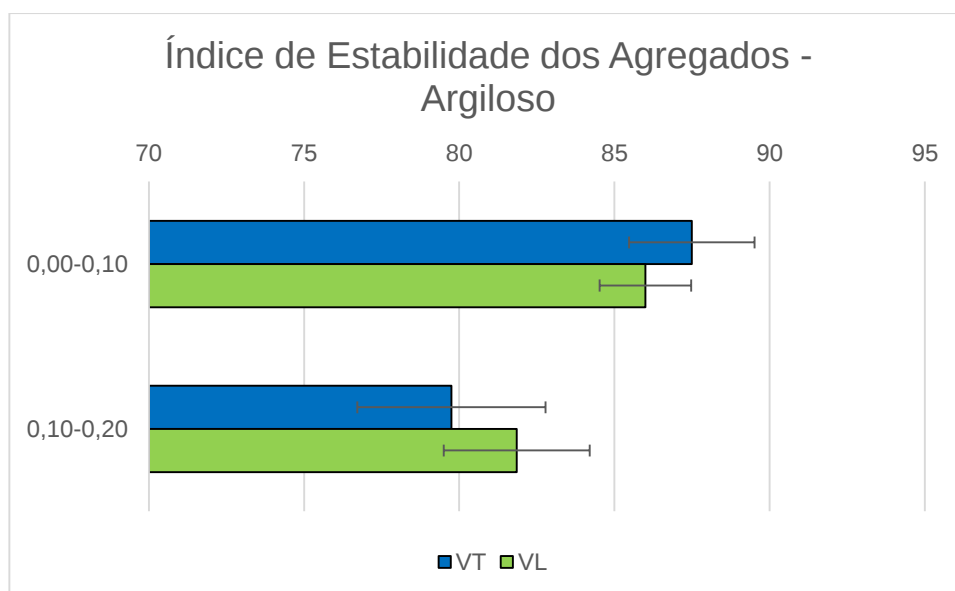


Figura 3: Média e erro padrão da média do índice de estabilidade dos agregados do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

Levando em consideração os parâmetros relacionados a macroporosidade (Macro) do solo argiloso, avaliou-se que através da aplicação de maneira localizada da vinhaça, a camada superficial (0,00-0,10m) obteve valores reduzidos ($0,044 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) quando comparados com a aplicação em área total ($0,063 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) (Figura 4). Os dados obtidos estão de acordo com

o que era esperado, uma vez que assim como no caso do DMP, a pressão exercida pela vinhaça é capaz de desagregar o solo e por sua vez reduzir os macroporos presentes.

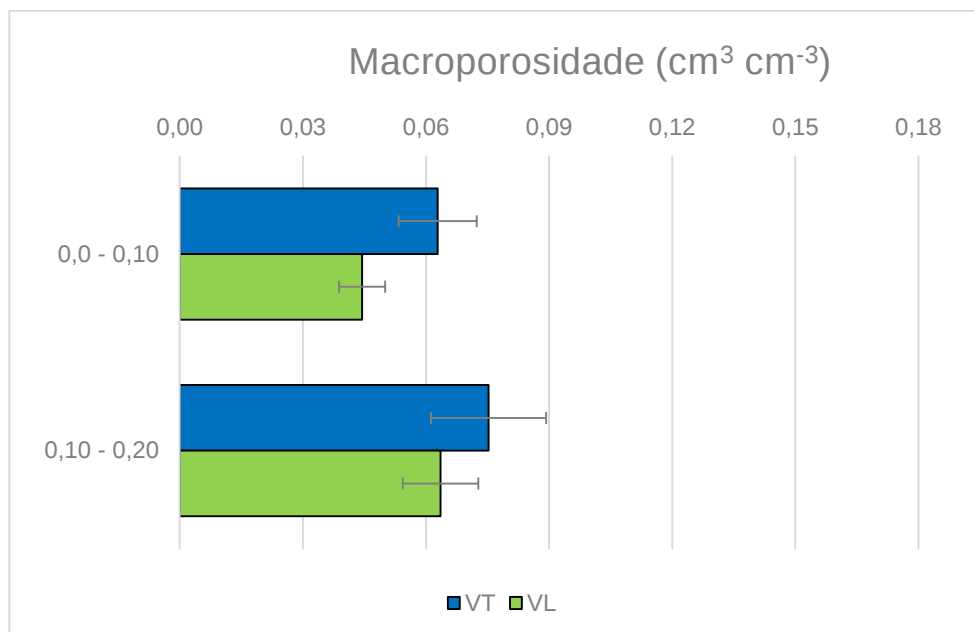


Figura 4: Média e erro padrão da média da macroporosidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A Microporosidade por sua vez, não sofreu alterações significativas nos valores avaliados, independente da camada (Figura 5).

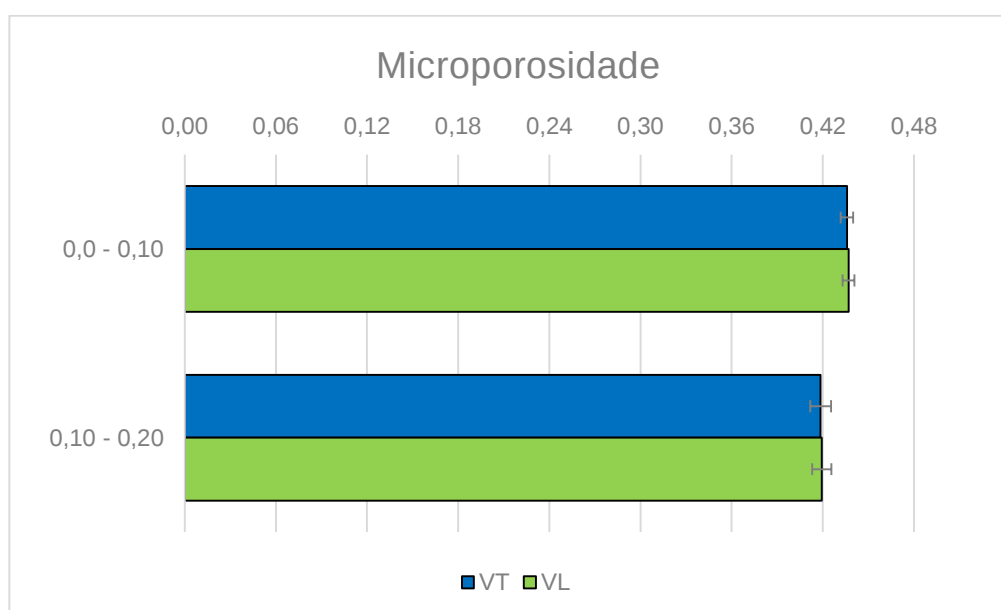


Figura 5: Média e erro padrão da média da microporosidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A porosidade total, por sua vez, compreende a soma das duas porosidades, Macro e Micro. Ao ser avaliada, constatou-se a manutenção do padrão observado na macroporosidade, em que a aplicação de vinhaça de maneira localizada reduz os valores presentes na primeira camada, sendo de $0,481 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, no caso da aplicação em área total, os valores foram de $0,501 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 6).

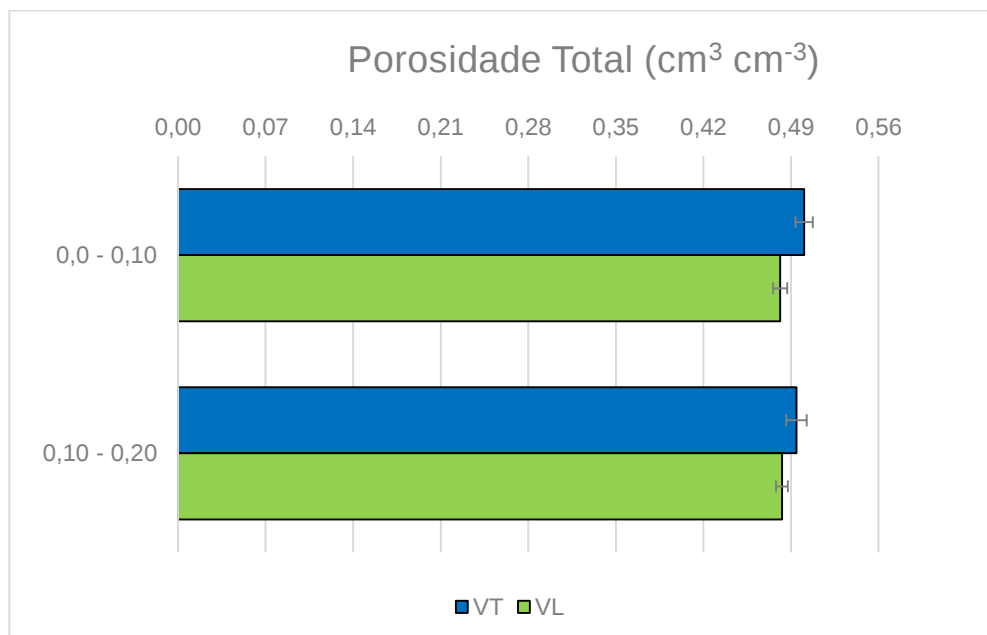


Figura 6: Média e erro padrão da média da porosidade total do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

Por sua vez, os valores densidade do solo (D_s) e resistência a penetração (R_p) não obtiveram alterações de valores quanto aos parâmetros estudados (Figuras 7 e 8).

A variação acerca da macroporosidade do solo e a não alteração nos valores da microporosidade e resistência a penetração do solo condizem com os

resultados obtidos por Cardoso (2021), em que existe uma correlação direta entre Micro e RP e inversa perante a Macro.

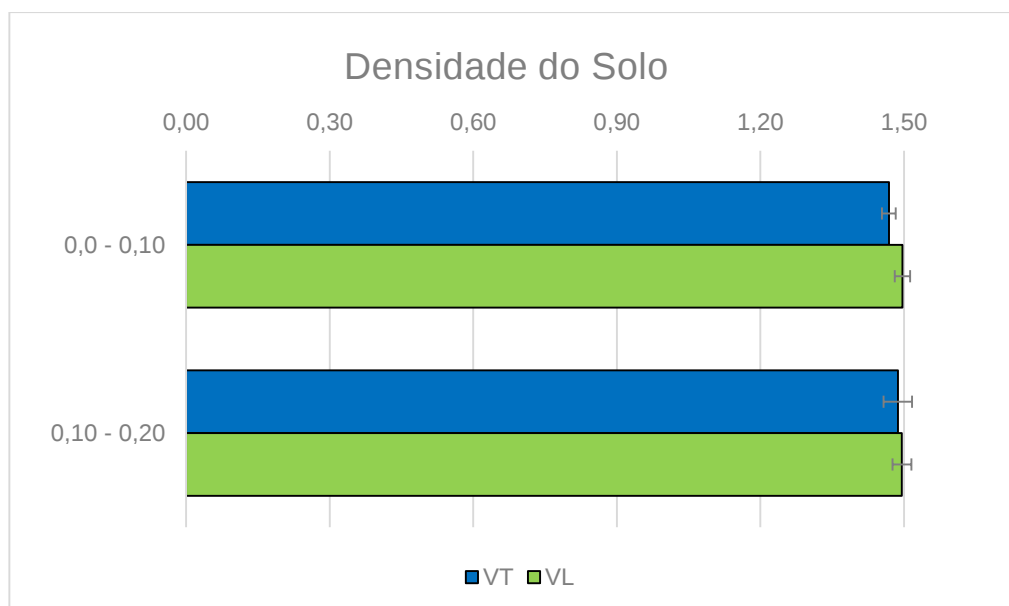


Figura 7: Média e erro padrão da média da densidade do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

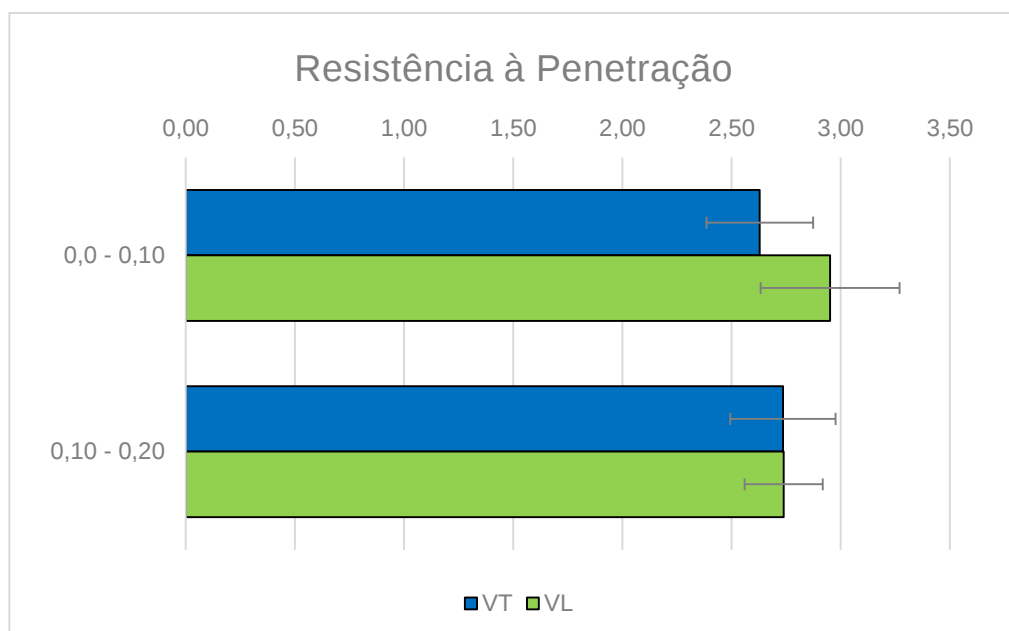


Figura 8: Média e erro padrão da média da resistência a penetração do solo argiloso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

Em relação ao solo arenoso, a não diminuição dos agregados (DMP) confirma que solos com essa classe textural possuem poucos agregados e de menor diâmetro, assim sendo de difícil mudança nas conformações (Figura 9) (Wohlenberg, 2002).

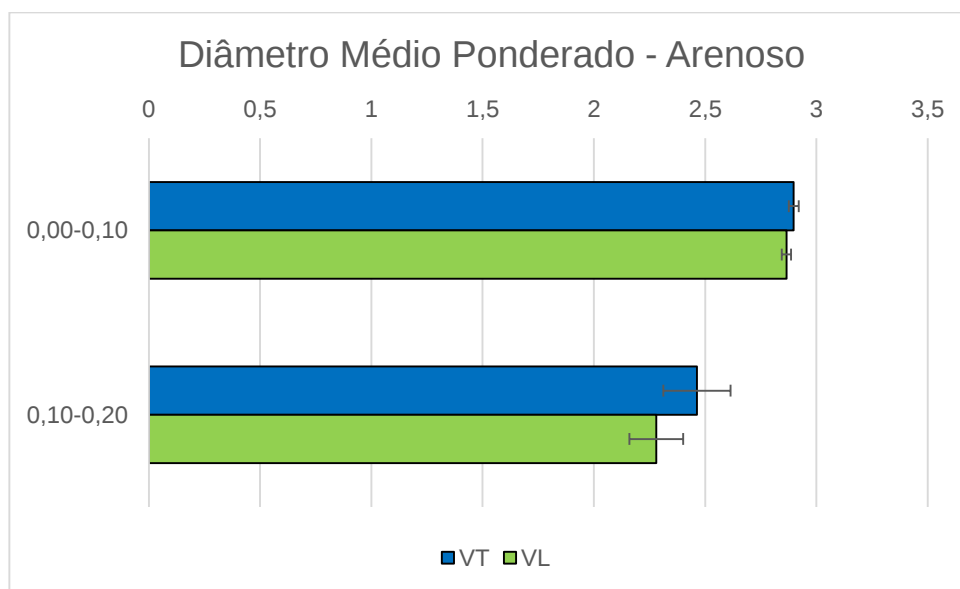


Figura 9: Média e erro padrão da média do diâmetro médio ponderado do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A explicação de que não houve alterações nos valores de carbono orgânico é compreendida a partir do momento em que o carbono é liberado após a desagregação (Machado, 2005), neste caso, esse evento não ocorreu por questões naturais do solo (Figura 10).

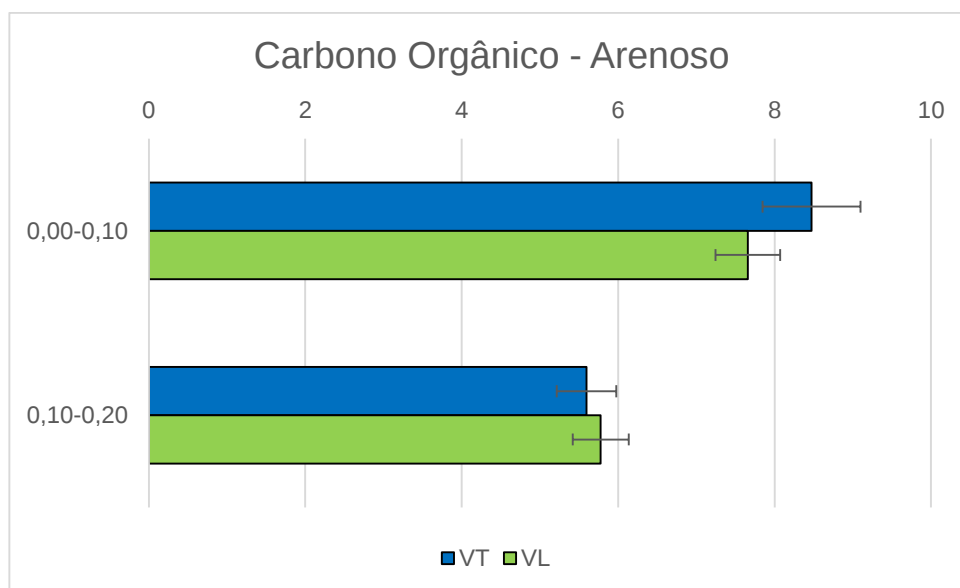


Figura 10: Média e erro padrão da média do carbono orgânico do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

O IEA, por sua vez, não sofreu alterações em decorrência do modo de aplicação da vinhaça (Figura 11). Esse parâmetro estudado apresenta a resistência que os agregados possuem perante o impacto da gota aplicada (Tassim *et al.*, 2021), assim demonstrando que os agregados suportam a aplicação de maneira localizada, através de jatos e em área total, por meio de gotas de vinhaça.

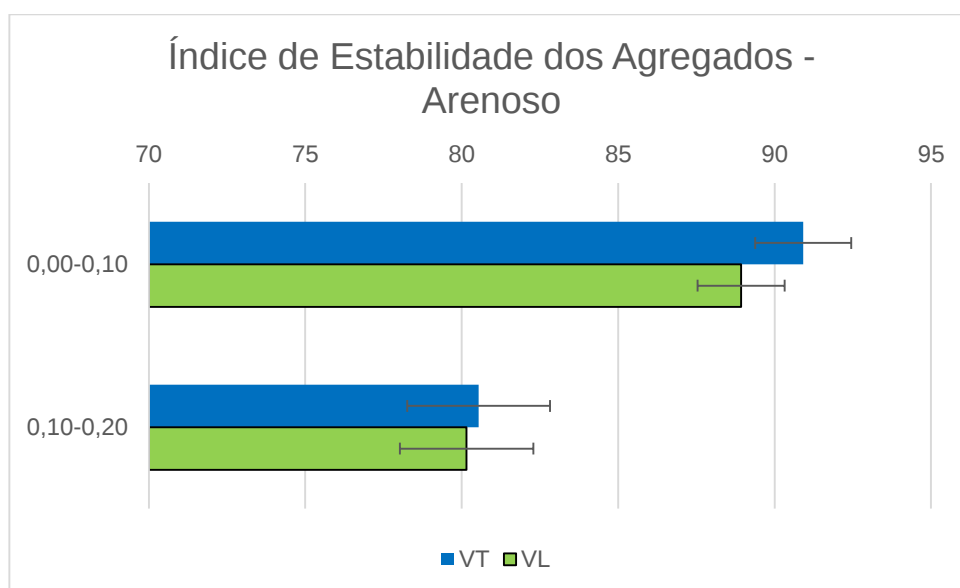


Figura 11: Média e erro padrão da média do índice de estabilidade dos agregados do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

Os critérios de avaliação relacionados com a porosidade do solo arenoso sofreram alterações nos parâmetros de Macro e PT quando aplicada a vinhaça de maneira localizada na linha da cultura, as variações ocorreram apenas na camada de 0,00-0,10m. O valor da Macro foi de $0,121 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com VT e $0,161 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com VL. O valor da PT, por sua vez, foi de $0,346 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com VT e $0,389 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com VL (Figuras 12 e 13). Essa variação pode ser causada por conta da pressão exercida pelo jato de vinhaça aplicado, causando desagregação.

A Micro não apresentou variações significativas nos valores obtidos. (Figura 14).

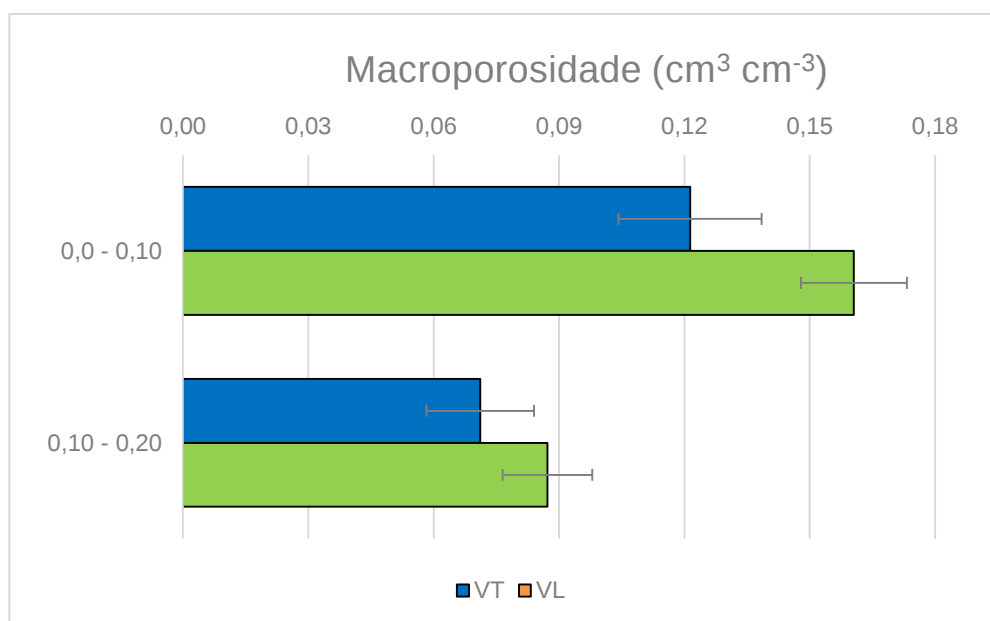


Figura 12: Média e erro padrão da média da macroporosidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

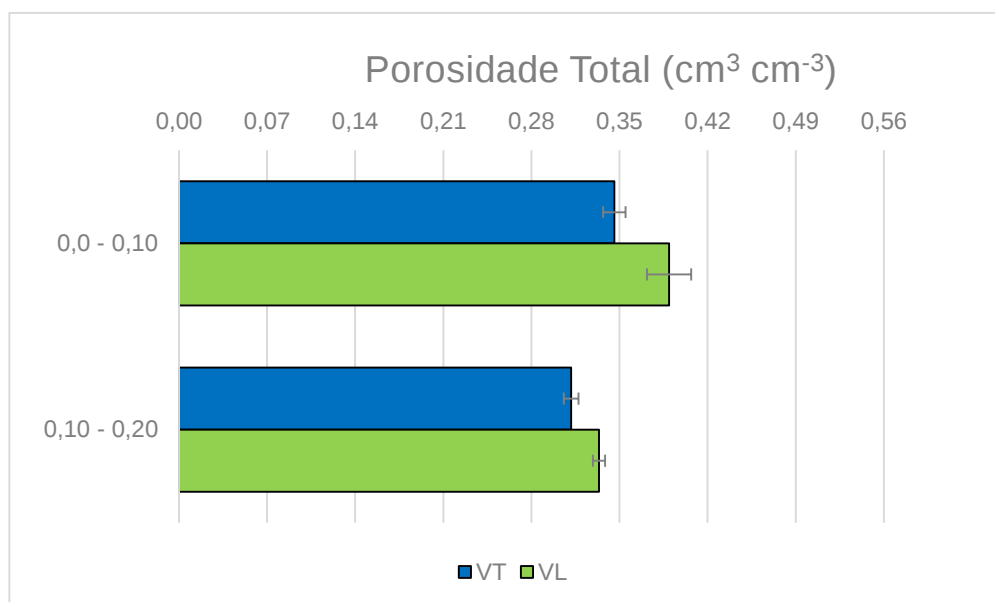


Figura 13: Média e erro padrão da média da porosidade total do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

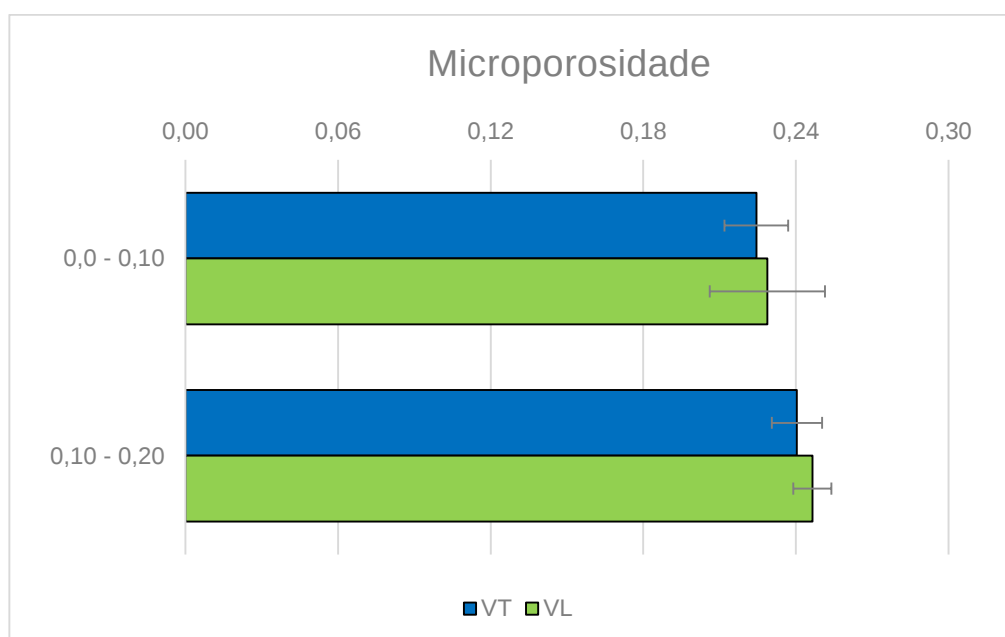


Figura 14: Média e erro padrão da média da microporosidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A confirmação dos dados obtidos ocorre a partir de que em solos arenosos e devida à sua maior porosidade, que permite a reorganização das partículas sob pressão externa, uma vez que é constituído por partículas de areia compacta que demandam maior força para serem fragmentadas (Silva et al., 2006)

Aos demais critérios avaliados, densidade do solo e resistência à penetração, assim como observado no solo de textura argilosa, não resultaram em mudanças significativas nos valores, assim como foi comprovado por Fernandes (2023) (Figuras 15 e 16), os resultados acerca da densidade do solo eram esperados por conta da relação com o carbono orgânico.

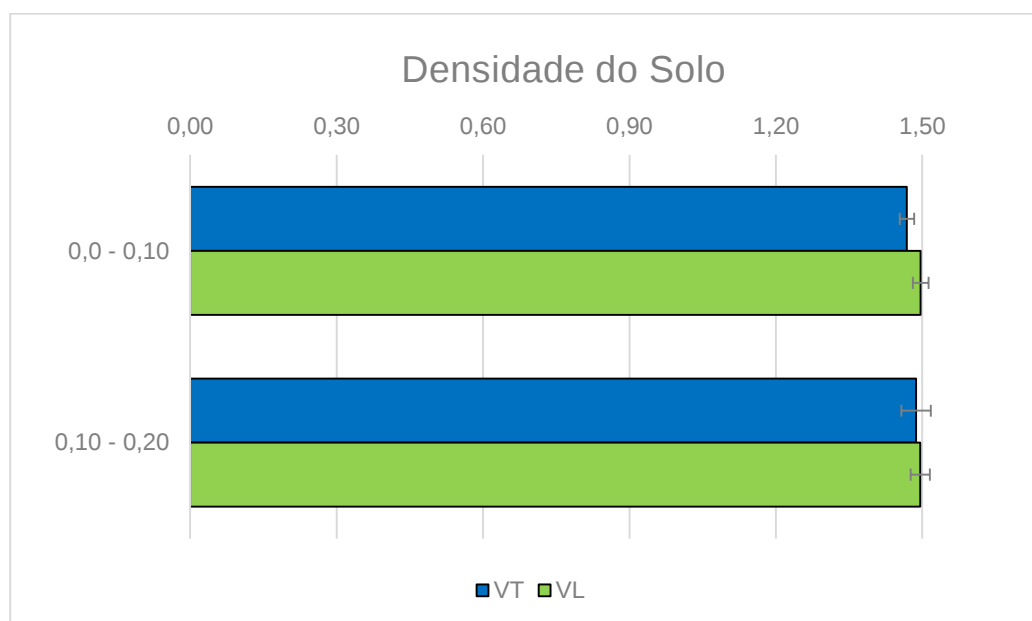


Figura 15: Média e erro padrão da média da densidade do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

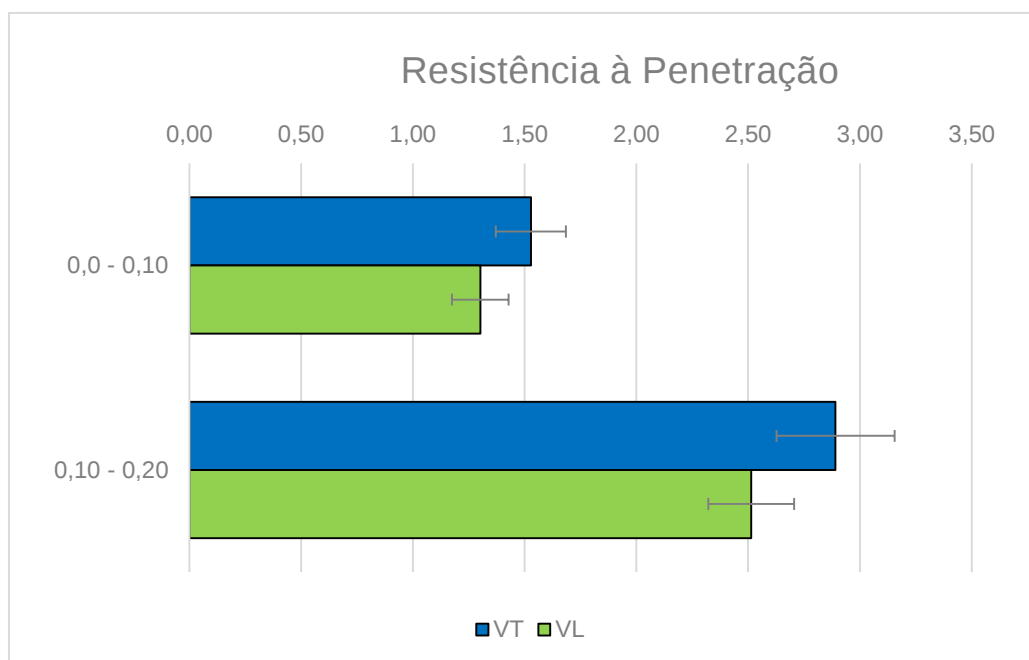


Figura 16: Média e erro padrão da média da resistência à penetração do solo arenoso em área com aplicação de vinhaça localizada (VL) e com aplicação de vinhaça em área total (VT) nas duas camadas avaliadas.

A partir dos resultados obtidos acerca da aplicação de vinhaça de maneira localizada na cultura ou sua aplicação em área total, em relação aos solos de textura argilosa e arenosa, conclui-se que as alterações obtidas interferiram apenas na camada superficial do solo (0,00-0,10m).

Reforça-se que a utilização da vinhaça no setor sucroenergético está atrelada aos benefícios que a mesma trás em vários âmbitos, sejam econômicos por reduzir os custos com fertilizantes, ambientais por evitar o descarte incorreto e assim a contaminação de lençóis freáticos, mas também pelos benefícios físicos, químicos e biológicos trazidos ao solo (Cardoso et al., 2022).

A utilização de vinhaça localizada está muito atrelada a uma melhor distribuição de benefícios que esse subproduto gera, assim realizando uma melhor homogeneidade e um melhor desenvolvimento da cultura nas áreas.

Tendo em vista as características naturais de cada solo, observa-se que elas se destacam quanto aos parâmetros alterados, o solo argiloso, por possuir

um valor maior de agregados e matéria orgânica e o solo arenoso que se destaca por conta de um maior valor de areia e um menor valor de agregados, tiveram alterações esperadas e ambos tiveram boas respostas quanto aos métodos de aplicação.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de vinhaça localizada nos dois solos avaliados resultou em alterações nas camadas avaliadas, tendo em vista as vantagens econômicas e ambientais que este método de aplicação, recomenda-se o uso da técnica em ambos os solos estudados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Israel Sampaio de. **CULTIVO DE CANA DE AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**. 2021. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, 2021. Acesso em 11 de Julho de 2024.

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. l], v. 29, n. 6, p. 1952-1960, dez. 2013. Acesso em 12 de Julho de 2024.

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>. Acesso em 12 de Julho de 2024.

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>. Acesso em 13 de Junho de 2024.

CASSOL, E. A. & LIMA, V. S. **Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 38:117-124, 2003. Acesso em 13 de Julho de 2024.

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 Acesso em 13 de Junho de 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 9, n. 1, abril de 2024. Acesso em 13 de Junho de 2024.

FERNANDES, Mariele Monique Honorato. **Aplicação de vinhaça localizada na linha da cana-de-açúcar cultivada em solo argiloso e arenoso**. 2019. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Jaboticabal, 2023.

GATTO, R.H. **Lodo de esgoto e vinhaça como fonte de cálcio, magnésio e potássio para a cultura da cana-de-açúcar** 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003. Acesso em 11 de Julho de 2024.

HOARAU, J.; CARO, Y.; GRONDIN, I.; PETIT, T. **Toward a status shift from waste to valuable resource**. A review. Journal of water process engineering, v. 24, p. 11-25, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.05.003>. Acesso em 11 de Julho de 2024.

Júnior CAM, Loss A, Junior ES, Giumbelli LD, Pinho D, Abreu L, Loourenzi CR, Comin JJ, Brunetto G. **Caracterização física de agregados do solo submetido a 10 anos de aplicação de dejetos suínos**. Rev. Cienc. Agr, San Juan de Pasto. 2019 Jan-Jun;36(1): 422. doi: 10.22267/rcia.193601.100. Acesso em 11 de Julho de 2024.

Kampf N & Curi N. **Caracterização do Solo**. In: Pedologia: Fundamentos/ Joao Carlos Ker (ed). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2012. 343 p. Acesso em 11 de Julho de 2024.

KATIA NACHILUK (São Paulo). **Cana-de-açúcar: produção e processamento em 2019. 2020.** Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14767>. Acesso em 13 de Julho de 2024.

MACHADO de PLO de A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quím Nova [Internet]. 2005Mar;28(2):329–34. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026> Acesso em 12 de Julho de 2024.

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. Acesso em 20 de Julho de 2024.

MARTINS, Y. A.; OLIVEIRA, C. F. **Uso da vinhaça via fertirrigação por sistemas de irrigação.** Jornada Acadêmica– Ciência, Inovação e Tecnologia no Bioma Cerrado, v. 5, 2016. Acesso em 11 de Julho de 2024.

GUARENGHI, M.M.; Garofalo, D.F.T.; Seabra, J.E.A.; Moreira, M.M.R.; Novaes, R.M.L.; Ramos, N.P.; Nogueira, S.F.; de Andrade, C.A. **Land Use Change Net Removals Associated with Sugarcane in Brazil.** Land 2023, 12, 584. <https://doi.org/10.3390/land12030584>, Acesso em 13 de Julho de 2024.

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>. Acessado em 13 de Julho de 2024.

OLIVEIRA, B.G., **Vinhaça da cana-de-açúcar: fluxos de gases de efeito estufa e comunidades de archaea presente no sedimento do canal de distribuição.** Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2010. Acesso em 11 de Julho de 2024.

RAÍZEN (Brasil). **Cana-de-açúcar: tudo sobre sua importância e versatilidade.** 2021. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/cana-de-acucar>. Acesso em 23 de Julho de 2024.

RAMOS, Camila Souza. **RenovaBio deve estimular cogeração da cana. Valor Econômico**, São Paulo, ago. 2018. Disponível em: <https://www.valor.com.br/agro/5749945/renovabio-deve-estimular-cogeração-da-cana>. Acesso em 13 de Junho de 2024.

SANTOS RODRIGUES, J.; SILVA, P. C.; COSTA, A. R.; GOMES, L. F.; SILVA, F. F.; SOARES, J. A. B.; FERREIRA, J. B. G. **Produtividade da cana-de-açúcar com aplicação de água residuária da indústria sucroenergética.** Research, Society and Development, v. 9, n. 5, p. e162953167-e162953167, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3167>. Acesso em 11 de Julho de 2024.

SALAZAR, R. G. M.; LIZARRAGA, A. L. S.; CAMPOS, J. R.; VAZQUEZ, G.D.; MARMOLEJO, E. N. M., DENDOOVEN, L.; RAMOS, S. M. C. **Utilização da vinhaça como fertilizante: Consequências e perspectivas**, 2016. Acesso em 13 de Junho de 2024.

SILVA, A. J. N. da.; CABEDA, M. S. V.. (2006). **Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade.** Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 30(6), 921–930. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600001>. Acesso em 12 de Julho de 2024.

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=S1415-43662007000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em 24 de Junho de 2024.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. & CARVALHO, F.G. **Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar.** R. Bras. Eng. Agric. Amb., 10:579-585, 2006. Acesso em 23 de Julho de 2024.

SORDI, René. **A hora e a vez da vinhaça localizada.** 2022. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/a-hora-e-a-vez-da-vinhaca-localizada.html>. Acesso em 24 de Julho de 2024.

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 Agrônomo, (Boletim técnico, 100), p.237-239, 1997. Acesso em 20 de Julho de 2024.

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 Agrônoma, Ciências da Produção Agrícola, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021. Acesso em 24 de Junho de 2024.

UNICA (Brasil). **Usinas do CS processam 44,75 milhões de toneladas de cana.** 2024. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/usinas-do-cs-processam-4475-milhoes-de-toneladas-de-cana/#:~:text=A%20moagem%20de%20cana%2Dde,44%2C56%20milh%C3%B5es%20em%202023..> Acesso em 23 de Julho de 2024.

Vitti, A. C., Otto, R., Franco, H. C., Trivelin, P. C. O., Fortes, C., & Faroni, C. E. (2019). **Sugarcane vinasse and nitrogen: Effects on agronomic and environmental performance of sugarcane.** Agriculture, Ecosystems & Environment, 274, 50-59. Acesso em 26 de Junho de 2024.

WHEELER, R. M.; CARGIN, J. M. R.; DUTRA, A. R. A.; CUBAS, A. L. V.; MOECKE, E. H. S.; JOÃO, J. J. **Potenciais aplicações da vinhaça da cana-de-açúcar visando a produção mais limpa: uma revisão integrativa.** IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis, p. 316-327, 2021. Acesso em 11 de Julho de 2024.

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. Acesso em 20 de Outubro de 2023.

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>. Acesso em 11 de Julho de 2024.