

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

BELCHIOR OLIVEIRA TRIGUEIRO DA SILVA

**CARBONO E MACROAGREGADOS DO SOLO COMO INDICADOR
DE QUALIDADE EM ÁREAS SOB DIFERENTES MANEJOS DE
CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

RECIFE-PE

2021

Belchior Oliveira Trigueiro Da Silva

Engenheiro Agrônomo

**CARBONO E MACROAGREGADOS DO SOLO COMO INDICADOR DE
QUALIDADE EM ÁREAS SOB DIFERENTES MANEJOS DE CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ademir de Oliveira
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Edivan Rodrigues
de Souza

RECIFE-PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586c Silva, Belchior Oliveira Trigueiro da
Carbono e macroagregados do solo como indicador de qualidade em áreas sob diferentes manejos de cultivo decana-de-açúcar / Belchior Oliveira Trigueiro da Silva. - 2021.
78 f. : il.
- Orientador: Ademir de Oliveira
Ferreira. Coorientador: Edivan
Rodrigues de Souza. Inclui
referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Recife, 2021.
1. Estabilidade de agregados. 2. Densidade do solo. 3. Matéria Orgânica do Solo. 4. Estrutura do Solo.
I. Ferreira, Ademir de Oliveira, orient. II. Souza, Edivan Rodrigues de, coorient. III. Título

CDD 631.4

BELCHIOR OLIVEIRA TRIGUEIRO DA SILVA

**CARBONO E MACROAGREGADOS DO SOLO COMO INDICADOR DE
QUALIDADE EM ÁREAS SOB DIFERENTES MANEJOS DE CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

Aprovada em 08 de março de 2021

Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Freire
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
Universidade Federal da Paraíba

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, **João Trigueiro da Silva e Maria do Carmo Oliveira**, por serem,
depois de Deus, a melhor companhia que um filho pode ter,*

dedico!

*Aos meus irmãos, **Baltazar, Júlio César, Heline, Sirley e Junior** por acreditarem em
mim e serem os melhores irmãos do mundo,*

dedico!

AGRADECIMENTOS

A DEUS por todo cuidado que sempre teve e tem comigo. Por me orientar nas decisões que tenho que tomar, por ser meu melhor amigo em quem deposito toda confiança. Agradeço a Ele pelo fato de estar vivo diante de uma pandemia que causou uma série de mudanças comportamentais para todos. Além disso, agradeço pelo ensinamento através desse ano atípico, onde Ele me ensinou que as coisas não estão no nosso controle, mas sim no controle Dele. Obrigado por tudo, Deus!

Ao meu pai, João Trigueiro, por sempre está me dando suporte quando precisei e pelo fato de nunca medir esforços para me ajudar no que preciso.

À minha mãe, Maria do Carmo, por sempre está me apoiando e fazendo eu ir atrás do meu objetivo com paciência e perseverança.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) por toda estrutura de qualidade fornecida, bem como laboratórios, salas de aula, estufas e todo equipamento necessários para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos Laboratórios de Manejo e Conservação, Física, Química e Microbiologia do Solo por todo suporte, bem como aos técnicos envolvidos em cada um deles.

Ao meu orientador e professor Dr. Ademir de Oliveira Ferreira por me orientar neste nível de conhecimento e por todo conhecimento compartilhado, bem como a paciência aos meus questionamentos.

Ao meu coorientador Dr. Edivan Rodrigues de Souza por suas contribuições dentro da Ciência do Solo.

Aos professores da Pós-graduação no programa de Ciência do Solo da UFRPE por todo conhecimento transferidos, em especial aos professores Fernando Freire, que contribuiu com a escrita do meu projeto e indicação de um outro local para coleta de solo, e ao professor Yuri Jacques por também contribuir com meu projeto de dissertação.

Às participantes do grupo de pesquisa de Manejo e Conservação do Solo: Aline Roma, Natália Dias e Maria Carolina, por todo apoio durante às análises e desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos amigos que a UFRPE me presenteou: Aline Roma, Cíntia Caroline, Jaciane Rosa, e Danilo Dutra.

Aos demais colegas que conheci durante o mestrado por suas conversas, risadas e contribuições no conhecimento científico.

À Socorro, por sempre me ajudar nas matrículas e conversas sobre o curso.

À toda minha família por todo apoio e confiança.

À Usina Trapiche por me permitir fazer a coleta de solo em sua área, bem como aos técnicos e profissionais que ajudaram na coleta.

Muito obrigado!

*Confia no SENHOR de todo o teu coração e não te estribes no teu próprio entendimento.
Reconhece-o em todos os teus caminhos, e ele endireitará as tuas veredas. Não seas sábio
aos teus próprios olhos; teme ao SENHOR e aparta-te do mal;*

Provérbios 3; 5-7

CARBONO E MACROAGREGADOS DO SOLO COMO INDICADOR DE QUALIDADE EM ÁREAS SOB DIFERENTES MANEJOS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A Zona da Mata de Pernambuco possui uma área extensa sob monocultivo de cana-de-açúcar de longa duração sob sistemas de manejos como os cultivos mínimo e convencional que causam efeitos diversos na qualidade química, física e biológica do solo. Os macroagregados do solo têm grande destaque como indicadores de qualidade física do solo, pois são sensíveis ao manejo, refletem a sustentabilidade do manejo adotado na área, são estruturas que protegem o carbono (C) orgânico, impedindo que haja uma maior oxidação pela atividade microbiana. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do solo em relação à variação do carbono e macroagregados do solo sob diferentes manejos de cultivo de cana-de-açúcar, comparado a vegetação nativa (Mata Atlântica). Foram amostradas 15 trincheiras ao acaso, em áreas pareadas com mesma ordem de solo (Latosolo Vermelho-Amarelo) e textura, onde cinco foram em área de cana-de-açúcar com cultivo mínimo (CM), cinco em área de cana-de-açúcar sob cultivo convencional (CC) e cinco em uma área de vegetação nativa (VN). Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Em laboratório foi realizado o tamisamento úmido das amostras em duplicatas para observar a estabilidade de agregados em água e separação das classes dos agregados em Microagregados (0,053-0,25 mm), pequenos (0,25 – 2 mm) e grandes Macroagregados (2 – 8 mm). A análise de C foi realizada via combustão úmida com o intuito de calcular o COT e estoque de carbono total bem como o estoque de C das classes dos agregados. Em cada classe de agregados nos diferentes manejos adotados foram calculados: Distribuição (peso proporcional) de agregados; Estoque de C; Diâmetro Médio Ponderado (DMP); Diâmetro Médio Geométrico (DMG); Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA); e Taxa de perda de C. O DMP apresentou resultados variando entre as três áreas estudadas de 4,22 a 4,89 para camada 0-5 cm, 3,80 a 4,89 para camada 5-10 cm e 3,10 a 4,72 para 10-20 cm; o DMG foi igual para todas as áreas e profundidades (0,98); e o IEA foi elevado para as três áreas e em todas as profundidades, variando de 97,6 a 99,7%. A densidade do solo foi maior para a área de CC (1,47 g cm⁻³) e menor para a área de VN (1,24 g cm⁻³). O monocultivo de cana-de-açúcar sob CC e CM aumentou a densidade do solo quando comparado com a VN em 20,7 e 13,2%, respectivamente. Os macroagregados grandes apresentaram distribuição (peso proporcional) de 95% para VN, 83% para CM e 67% para CC. Enquanto, que os macroagregados pequenos apresentaram distribuição de 31% para CC, 15% para CM e 4% para VN. O estoque médio de carbono nos macroagregados grandes obedeceu a seguinte ordem decrescente VN > CM > CC, sendo de 74,4 Mg ha⁻¹; 57,78 Mg ha⁻¹ e 52,85 Mg ha⁻¹, respectivamente para a camada de 0-20 cm de profundidade. Os macroagregados pequenos obedeceram a seguinte ordem decrescente CC > CM > VN, sendo de 23,16 Mg ha⁻¹; 10,10 Mg ha⁻¹ e 2,34 Mg ha⁻¹, respectivamente para a mesma camada. A taxa de perda de C na camada 0-20 cm de profundidade mostrou que as áreas de CM e CC diminuíram a qualidade estrutural do solo em 22,3 e 28,9%, respectivamente. A qualidade estrutural dos macroagregados do solo obedeceu a seguinte ordem decrescente: VN > CM > CC por ocasião do manejo empregado nas áreas. A classe de macroagregados grandes (2-8 mm) foi sensível para diferenciar os manejos de CM e CC.

Palavras-chave: Estabilidade de agregados. Densidade do solo. Matéria Orgânica do Solo. Estrutura do Solo.

CARBON AND SOIL MACROGREGATES AS QUALITY INDICATOR IN AREAS UNDER DIFFERENT SUGARCANE CULTIVATION MANAGERMENTS

ABSTRACT

Zona da Mata of Pernambuco has an extensive area under long-term sugarcane monoculture under management systems such as minimal and conventional crops that cause different effects on the chemical, physical and biological quality of the soil. Soil macroaggregates stand out as indicators of soil physical quality, as they are sensitive to management, reflect the sustainability of the management adopted in the area, are structures that protect organic carbon (C), preventing further oxidation by microbial activity. The objective of this study was to evaluate the soil quality in relation to the variation of carbon and soil macroaggregates under different sugarcane cultivation managements, compared to native vegetation (Atlantic Forest). Fifteen trenches were sampled at random, in paired areas with the same soil order (Red-Yellow Latosol) and texture, where five were in a sugarcane area with minimum cultivation (CM), five in an area of sugarcane. sugar under conventional cultivation (CC) and five in an area of native vegetation (VN). Deformed and undisturbed soil samples were collected at depths 0-5, 5-10 and 10-20 cm. In the laboratory, the wet sieving of samples in duplicates was carried out to observe the stability of aggregates in water and separation of the classes of aggregates into Microaggregates (0.053-0.25 mm), small (0.25 - 2 mm) and large Macroaggregates (2 – 8 mm). The C analysis was performed via wet combustion in order to calculate the TOC and total carbon stock as well as the C stock of the aggregate classes. In each class of households in the different managements adopted, the following were calculated: Distribution (proportional weight) of households; stock C; Mean Weighted Diameter (MWD); Mean Geometric Diameter (MGD); Aggregate Stability Index (ASI); and Loss rate of C. The MDG showed results varying between the three areas studied from 4.22 to 4.89 for layer 0-5 cm, 3.80 to 4.89 for layer 5-10 cm and 3.10 at 4.72 to 10-20 cm; the MGD was the same for all areas and depths (0.98); and the ASI was elevated for the three areas and at all depths, ranging from 97.6 to 99.7%. The soil density was higher for the CT area (1.47 g cm⁻³) and lower for the NV area (1.24 g cm⁻³). Sugarcane monoculture under CT and MT increased soil density when compared to NV by 20.7 and 13.2%, respectively. The large macro-aggregates had a distribution (proportional weight) of 95% for NV, 83% for MT and 67% for CT. However, the small macro-aggregates showed a distribution of 31% for CT, 15% for MT and 4% for NV. The average carbon stock in the large macroaggregates followed the following decreasing order NV > MT > CT, being 74.4 Mg ha⁻¹; 57.78 Mg ha⁻¹ and 52.85 Mg ha⁻¹, respectively for the 0-20 cm deep layer. The small macroaggregates obeyed the following decreasing order CT > MT > NV, being 23.16 Mg ha⁻¹; 10.10 Mg ha⁻¹ and 2.34 Mg ha⁻¹, respectively for the same layer. The rate of loss of C in the layer 0-20 cm deep showed that the areas of MT and CT decreased the structural quality of the soil by 22.3 and 28.9%, respectively. The soil structural quality of the soil macroaggregates followed the following decreasing order: NV > MT > CT at the time of the management used in the areas. The class of large macroaggregates (2-8 mm) was sensitive to differentiate the management of MT and CT.

Keywords: Aggregate stability. Soil density. Organic Matter of Soil. Soil Structure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Área de estudo, Usina Trapiche, Município de Sirinhaém-PE. Fonte: Adaptações do Google Maps, 2020.....	32
Figura 2. Representação esquemática da coleta de amostras e anéis de densidade de solo nas áreas de cana-de-açúcar sob os diferentes manejos (mínimo e convencional) e em área de vegetação nativa.....	34
Figura 3. Coleta e embalagem em plástico filme dos anéis para densidade do solo.....	34
Figura 4. Anel feito toilet (a); anéis nas latas para serem levados à estufa (b); anéis na estufa à 105° C (c).....	35
Figura 5. a: Amostras peneiradas e acondicionadas de TFSA; b: amostras pesadas; c: amostras pesadas nas garrafas mais Cálgon e água até peso de 200 g; d: inserção das garrafas no agitador do tipo Wagner por 16 h; e: montagem das colunas com o volume contido nas garrafas retiradas do agitador para descanso de 24h; f: lavagem das amostras para separação da areia utilizando peneira.....	36
Figura 6. Peneiras de 7,1 e 4,76 mm (a) e (b); separação dos agregados no ponto de fraqueza (c) e agregados separados e pesados (d).....	37
Figura 7. (a) Yoder da Universidade Federal Rural de Pernambuco, possui três colunas com os jogos de peneiras inseridas no interior de cada coluna; (b) Interior das colunas do Yoder com as peneiras; (c) conjunto de peneiras de cada coluna do Yoder.....	38
Figura 8. Amostra umedecida com álcool 96° (a); amostra de solo na peneira do Yoder (b).....	38
Figura 9. Massa de solo retida nas peneiras (a); massa de solo separada em latas para estufa; latas na estufa (c).....	39
Figura 10. Representação esquemática da taxa de perda de C em macroagregados grandes (2-8 mm) na camada arável (0-20 cm) em área de do monocultivo de cana-de-açúcar sob cultivo mínimo (CM) e convencional (CC).....	60
Figura 11. Produtividade anual e acumulada da cana sob cultivos mínimo (CM) e convencional (CC).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição detalhada das áreas do estudo.....	33
Tabela 2. Valores médios das análises granulométricas das diferentes áreas de estudos da Usina Trapiche na Zona da Mata Pernambucana.....	45
Tabela 3. Valores médios de densidade do solo (Ds) das áreas de vegetação nativa (VN), e cana-de-açúcar sob diferentes manejos.....	46
Tabela 4. Caracterização química nas diferentes profundidades da Vegetação Nativa (VN), e cana-de-açúcar sob diferentes manejos.....	49
Tabela 5. Valores médios dos diâmetros médios ponderados (DMP), diâmetros médios geométricos (DMG) e índices de estabilidade de agregados (IEA) dos usos agrícola e manejo do solo com Vegetação Nativa (VN) e cana sob diferentes manejos.....	50
Tabela 6. Valores médios de distribuição (Peso proporcional) de agregados (g) do solo nas diferentes profundidades da Vegetação Nativa (VN), cana sob cultivo mínimo (CM) e cana sob cultivo convencional (CC).....	54
Tabela 7. Valores proporcionais, em porcentagem, representativos das classes de agregados do solo.....	55
Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono total nas áreas de Vegetação Nativa (VN) e cana sob diferentes manejos.....	57
Tabela 9. Valores médios dos estoques de carbono das diferentes classes de agregados nas áreas de Vegetação Nativa e cana sob diferentes manejos.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Hipóteses	23
1.2 Objetivos.....	23
1.2.1 Geral	23
1.2.2 Específicos.....	23
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 Características da cana-de-açúcar, manejo na zona da Mata Pernambucana e no Brasil... 24	
2.2 Preparo do solo: cultivo mínimo vs cultivo convencional.....	25
2.3 Avaliação da qualidade do solo	26
2.4 Indicadores da qualidade química do solo.....	27
2.5 Indicadores da qualidade física do solo	29
2.6 Macroagregados do solo como indicadores de qualidade	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 Caracterização do Local e Coleta de Solo	32
3.2 Densidade do Solo (DS).....	34
3.3 Análise Granulométrica.....	36
3.4 Estabilidade de Agregados	37
3.5 Análises químicas	40
3.6 Carbono Orgânico Total (COT)	42
3.7 Análise estatística	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Atributos físicos e químicos das áreas de vegetação nativa e cana-de-açúcar sob diferentes manejos.....	44
4.1.1 Análises granulométricas.....	44
4.1.2 Densidade do Solo (DS)	45
4.1.3 Atributos químicos (Fertilidade do solo).....	48
4.2 Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e índices de estabilidade de agregados (IEA) em áreas de vegetação nativa e de cana-de-açúcar sob diferentes manejos	49
4.3 Distribuição (peso proporcional) de macroagregados do solo em áreas de vegetação nativa (VN) e cana sob diferentes manejos	53

4.4 Carbono orgânico total das áreas de vegetação nativa e cana sob diferentes manejos	56
4.5 Estoque de carbono nas classes de agregados das áreas de vegetação nativa e cana sob diferentes manejos	58
4.6 Taxa de perda de C dos macroagregados grandes (2-8 mm) nas áreas de cana sob diferentes manejos em comparação a vegetação nativa	60
4.7 Produtividades anual e acumulada das áreas de cana-de-açúcar sob os diferentes manejos	61
5 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa área territorial que é formada por ricos ecossistemas de diferentes características de clima, vegetação e geomorfologia (BORELLA et al., 2018), entretanto, a cobertura vegetal original dessa área territorial está sendo modificada (FREITAS et al., 2018). A conversão da vegetação nativa por áreas agrícolas tem intensificado bastante nos últimos anos, chegando a valores de 107% de crescimento das área de agricultura em detrimento com a diminuição de cerca de 10% da Mata Atlântica (MAPBIOMAS, 2019), e isso tem ocasionado mudanças em relação à qualidade física, química e biológica do solo (CARDOSO et al., 2011).

A qualidade do solo pode ser entendida como a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites dos ecossistemas naturais, sustentar plantas e produtividade animal, manter ou melhorar a qualidade da água, do ar e promover a saúde humana e habitação (KARLEN et al., 1997). Existem diversos indicadores que avaliam a qualidade do solo tais como matéria orgânica do solo (DA SILVA et al., 2014; SÁ et al. 2018; SOUZA et al., 2019); macroagregados (TIVET et al., 2013; DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018); carbono (C) da biomassa microbiana (HOFFMANN et al., 2018); e estabilidade química (EPELDE et al., 2014), entre outros.

A Zona da Mata de Pernambuco é caracterizada pelo cultivo de longa duração, em larga escala, da cana-de-açúcar sob diversos sistemas de manejo (mínimo e convencional). O cultivo contínuo de culturas agrícolas, sob longa duração, associado ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam na rápida degradação da qualidade do solo (FREITAS et al., 2017) e desempenho produtivo (CIPRIANI et al., 2018). Além disso, ainda é feita a queima da palha da cana-de-açúcar para colheita (RIBEIRO et al., 2018) de forma que o solo permanece descoberto por um período relativamente longo, o que acelera o processo erosivo e culmina com a degradação da qualidade do solo (GARBIATE et al., 2011).

A conversão da vegetação nativa (VN) por áreas agrícolas é mais afetada pela forma convencional do preparo do solo, onde há o revolvimento contínuo e intenso do solo tendendo a diminuir a qualidade do sistema solo (COSTA et al., 2006), pois haverá a exposição do solo (THEODORO et al., 2018) mediante amplo revolvimento das camadas superficiais do solo (PIRES et al., 2006). Isto reflete negativamente na infiltração da água, na erosão hídrica, no desenvolvimento das plantas, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros

e estabilidade dos agregados do solo (BERTOL et al., 2004), ou seja, reduzirá a qualidade estrutural do solo, e também a matéria orgânica (LISBOA et al., 2012).

Com a redução da matéria orgânica também ocorre uma perda na qualidade química e biológica do solo, pois a matéria orgânica do solo tem relação com a disponibilidade e ciclagem de nutrientes proveniente das alterações associadas na quantidade aportada, regula o pH do solo, e, ou qualidade de C do solo (MARTÍNEZ et al., 2013; LI et al., 2018; CACHO et al., 2019). Referente à qualidade biológica, a diminuição da matéria orgânica do solo ocasiona também a diminuição da atividade e diversidade da fauna edáfica (ALMEIDA et al., 2017).

O cultivo mínimo é uma prática de manejo conservacionista utilizada na cana-de-açúcar (OLIVEIRA NETO et al., 2011; FILIZOLA; BARRETO LUIZ, 2018) apresenta número reduzido de operações para o preparo do solo em comparação ao convencional, sendo o preparo do solo restrito às linhas de plantio, mantendo os resíduos culturais sobre o terreno (PIRES et al., 2006). Interferindo positivamente na proteção da estrutura do solo por ocasião do maior aporte de resíduo orgânico remanescente na área, na acumulação de água em profundidade, nas propriedades agroquímicas, no aumento do teor de nutrientes e húmus, na produtividade agrícola, reduz a perda do solo por erosão, aumento no estoque de carbono, entre outros (RUSU et al., 2009; KOUSELOU et al., 2018; LI et al., 2020).

Práticas conservacionistas bem adotadas podem reverter esse quadro de degradação e melhorar a qualidade do solo (SILVA et al., 2018), tais como aporte em quantidade e qualidade de palha sobre a superfície do solo (NAKAO et al., 2015), sistema plantio direto (SPD), rotação de culturas, integração lavoura-pecuária (ILP) (COSTA et al., 2015), terraços agrícolas (CUNHA et al., 2011), cultivo mínimo (RODRIGUES et al., 2018) entre outras.

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade do solo em relação à variação do carbono e macroagregados do solo sob diferentes manejos de cultivo de cana-de-açúcar, comparado a vegetação nativa (Mata Atlântica).

1.1 Hipóteses

- ✓ A substituição da vegetação nativa por áreas de longa duração sob cultivo de cana-de-açúcar na Zona da Mata Pernambucana causa declínio na qualidade física do solo (acessada pelos Macroagregados).
- ✓ A distribuição de Macroagregados do solo são afetados pelos sistemas de manejo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Avaliar a qualidade do solo em relação à variação do carbono e macroagregados do solo sob diferentes manejos de cultivo de cana-de-açúcar, comparado a vegetação nativa (Mata Atlântica).

1.2.2 Específicos

- ✓ Avaliar a distribuição de macroagregados grandes e pequenos (2-8 mm e 0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm) em área de cana-de-açúcar com diferentes sistemas de manejo e em área de vegetação nativa (Mata atlântica);
- ✓ Quantificar o estoque de carbono em nível de macroagregados do solo em cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de manejo;
- ✓ Quantificar as taxas de perda de C;
- ✓ Comparar a relação entre estrutura do solo (acessada pelos macroagregados do solo), atributos químicos do solo e produtividade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características da cana-de-açúcar, manejo na zona da Mata Pernambucana e no Brasil

A Zona da Mata Pernambucana é caracterizada por “domínios de mares de morro”, pois possui formações de muitas ondulações em sua área territorial (PERNAMBUCO, 2019), corresponde a 8,9% do território estadual e estando situada entre os meridianos de 34°80' e 30°20' Oeste de Greenwich e os paralelos 8°20' e 9°00' Sul (ÂNCORA, 2019). Apresenta valores médios de precipitação acima dos 1200 mm (GUEDES et al., 2016). A maior parte da área agrícola do estado de Pernambuco é ocupada pela cana-de-açúcar e com produção mais acentuada na mesorregião da Zona da Mata (SIMÕES NETO et al., 2012; SANTOS, 2018).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta que faz parte da família Poaceae, sendo alógama, ou seja, faz polinização cruzada, e tem centro originários nas regiões da Nova Guiné e Indonésia (MANHÃES et al., 2015), além disso, possui seu metabolismo fotossintético classificado como C4 (SILVA et al., 2015).

A cana-de-açúcar é uma cultura muito utilizada no cenário atual da agricultura brasileira, economicamente uma das mais importantes, com perspectivas de expansão da safra nos próximos anos (SOUZA et al., 2014), haja vista os diversos usos na agroindústria (PINTO et al., 2018; SILVA et al., 2019) e na cogeração de energia elétrica (ARCOVERDE et al., 2019). Além disso, passa por uma fase de forte expansão gerada pelas perspectivas acerca da produção do etanol (AGUIAR et al., 2014), proveniente dos vários híbridos tais como *Saccharum officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum* que se adequam às condições edafoclimáticas do Brasil (MARIN, 2014) potencializando tal produção. Segundo a CONAB, (2019), a estimativa da produção de açúcar no Brasil está atingindo 30,14 milhões de toneladas, enquanto que a estimativa para a produção de etanol é de quase 36 milhões de litros. Essa produção, portanto, potencializa a economia do Brasil, haja vista o valor comercial obtido tanto nacional quanto internacionalmente.

O monocultivo é o sistema mais utilizado para a cana-de-açúcar (ELLI et al., 2016) e a implantação dele é feita das formas mais variadas possíveis, desde cultivos convencionais aos mais conservacionistas. As operações utilizadas para a conversão de uma vegetação nativa para uma área agrícola são diversas e podem alterar alguns índices da qualidade do solo (MONTEIRO; PONCIANO, 2012; ALMEIDA et al., 2016). Para a cana-de-açúcar, pode-se citar acentuado revolvimento por ocasião do plantio, com o uso de arados, grades pesadas e

subsoladores. Além disso, ao final do ciclo de produção, é comum realizar a queima da palhada da cana antes da colheita (CEDDIA et al., 1999) o que leva ao declínio do potencial produtivo dos solos, decorrente da diminuição no teor de carbono orgânico (TAVARES; ZONTA, 2010).

Ainda com enfoque nas áreas de cana-de-açúcar, mas desta vez com a difusão de práticas mais conservacionistas, podemos encontrar as práticas edáficas, vegetativas e mecânicas. As práticas edáficas são aquelas em que além de diminuir a erosão, manterão e ou melhorarão a fertilidade do solo, bem como as propriedades físicas. As práticas conservacionistas de caráter vegetativo são aquelas que utilizam espécies vegetais para cobrir o solo, evitando a erosão do solo pelo impacto das gotas da chuva, e as de caráter mecânico são as que se utilizam de estruturas físicas artificiais (barreiras) com o intuito de diminuir o escoamento superficial, permitindo uma maior infiltração da água no solo (PRUSKI, 2009; LEPSCH, 2011; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; BERTOL et al., 2019).

Vasconcelos et al. (2010), estudando sobre a estabilidade de agregados do solo em Latossolo Amarelo sob áreas com cana-de-açúcar mediante diferentes níveis de resíduos orgânicos como vinhaça, ou seja, uma prática de caráter edáfico, conseguiram concluir que o solo em estudo apresentou, de forma geral, uma melhor estrutura com o surgimento de macroagregados. Infere-se ainda desse trabalho que essa prática ajuda na conservação do solo, pois com a fertilidade melhorada teremos um maior desenvolvimento dos vegetais, e, por consequência uma maior cobertura do solo. A palha da cana-de-açúcar deixada sobre o solo pode ser considerada uma prática vegetativa de conservação, pois o solo se beneficiará do aporte de matéria orgânica no solo, melhorando algumas propriedades referentes ao solo como a citada por Signor et al. (2016), onde a área de cana-de-açúcar com a palhada apresentou benefícios na fertilidade do solo além de ciclar nutrientes e proteger o solo contra impactos das gotas de chuva (CLERICI DE MARIA et al., 2016).

2.2 Preparo do solo: cultivo mínimo vs cultivo convencional

A cultura da cana-de-açúcar é uma cultura totalmente mecanizada e tem algumas exigências particulares para o desenvolvimento adequado da variedade, sendo uma delas o preparo do solo. O preparo adequado do solo fornecerá condições favoráveis em relação aos sistemas físico, químico e biológico do solo, para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas, sobretudo em relação ao crescimento do sistema radicular podendo resultar em plantas saudáveis e produtivas (CLERICI DE MARIA et al., 2016).

A depender do manejo empregado no preparo do solo uma área agrícola pode refletir numa melhor ou pior condição estrutural e produtiva. Existem vários manejos que podem ser empregados nas culturas agrícolas como a cana-de-açúcar, desde os mais convencionais (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; CURY; CLERICI DE MARIA; BOLONHEZI, 2014; ALMEIDA et al., 2016; MARTINS et al., 2020) aos mais conservacionistas como o plantio direto e cultivo mínimo (ARCOVERDE et al., 2019; CARNEIRO et al., 2020; AWE; REICHERTB; FONTANELA, 2020).

O cultivo convencional tem seu conceito atrelado ao revolvimento do solo por meio de operações com maquinários agrícolas por ocasião do plantio e colheita tendo como principais técnicas a subsolagem, operações de gradagem e aração na subsuperfície do solo (BARBOSA et al., 2019).

O cultivo mínimo é uma prática mais conservacionista que consiste em preparar o solo para o plantio utilizando um menor número de operações mecanizadas (SIMON et al., 2019), com apenas a subsolagem na área para descompactação (CLERICI DE MARIA, et al., 2016) além de deixar uma quantidade mínima de material vegetal remanescente (30%) sobre o solo após colheita (RUSU et al., 2009).

Estes sistemas de manejo citados anteriormente interferem diretamente na qualidade química, física e biológica do solo. A forma convencional de manejo influencia negativamente na perda de carbono do solo, aumento de CO₂ na atmosfera (SILVA-OLAYA et al., 2013), maior densidade aparente, menor porosidade, menor desenvolvimento de raízes (SCARPARE et al., 2019), desestabilização da estrutura do solo, menores estoques de C e N (MEDEIROS et al., 2018), maior perda por erosão (RONG et al., 2019). Já o manejo mais conservacionista utilizando o cultivo mínimo aumenta o acúmulo de C, disponibiliza nutrientes, melhora as condições rizosféricas, reduz a compactação do solo (SHUKLA et al., 2020), conserva a umidade (SANDHU et al., 2019), aumenta o conteúdo de água (OLIVEIRA et al., 2019), etc.

2.3 Avaliação da qualidade do solo

Para Vezzani e Mielniczuk (2011), o solo consiste em um sistema complexo de interações entre os minerais, as plantas e a biota edáfica, sendo um sistema aberto que recebe um fluxo contínuo de energia e matéria e que por isto não está em equilíbrio dinâmico. Logo, observa-se que, por se tratar de um sistema tão dinâmico, há a necessidade de se entender como analisar os processos que ocorrem no sistema solo-planta para avaliar a qualidade do solo (QS) (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A QS é um tema que tem despertado interesse nos pesquisadores. Ela é uma medida da sua capacidade para realizar determinadas funções ecológicas tais como meio para crescimento das plantas; abastecimento de água; modificadora da atmosfera; ciclagem de nutrientes e habitat para os organismos vivos, que em combinação, refletem nas propriedades químicas, físicas e biológicas (BRADY; WEIL, 2013). A QS pode ser avaliada tanto para agroecossistemas, onde o principal, mas não exclusivo, é a produtividade, quanto para ecossistemas naturais, onde os principais objetivos são a manutenção da qualidade ambiental e a conservação da biodiversidade (BÜNEMANN et al., 2018).

Existe uma dedicação multidisciplinar que busca quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo (FREITAS et al., 2012). A utilização de indicadores de qualidade do solo relaciona-se à funcionalidade, ou seja, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente (ARAÚJO et al., 2012). No entanto, existe uma limitação para avaliar a qualidade do solo que é a falta de um método universalmente aceito para o desenvolvimento do solo em relação aos indicadores de qualidade (SANTOS-FRANCÉS et al., 2019).

Vários são os indicadores de qualidade do solo, tais como os químicos (MORAIS et al., 2015); físicos (REIS et al., 2016; CAVALCANTE et al., 2021) e biológicos (ARAUJO et al., 2019) os quais são normalmente escolhidos de acordo com o foco da pesquisa (STEFANOSKI et al., 2016). O monitoramento das alterações ocorridas nos atributos do solo em agroecossistemas condicionadas pelos diferentes sistemas e práticas de manejo é essencial para definir e traçar estratégias com menores impactos ao meio ambiente (CHERUBIN et al., 2015) garantindo uma escolha mais adequada da técnica do manejo a ser feito na área de produção agrícola.

2.4 Indicadores da qualidade química do solo

No que diz respeito à qualidade química, a substituição da VN por cultivos altera a fertilidade do solo, pois há uma redução no teor de matéria orgânica do solo (MOS) (MACHADO et al., 2014), podendo haver aumento dos teores de Mn e Al, devido à redução do pH (BONINI; ALVEZ; MONTNARI, 2015). O impacto sobre a dinâmica da matéria orgânica (MO) têm provocado interesse científico quanto às potenciais alterações na dinâmica do carbono orgânico total (COT) (WINK et al., 2015), considerando-se as diversas propriedades que melhoram a qualidade do solo. A MO contribui com o aumento da capacidade de troca de

cátions (CTC) (BALERINI et al., 2018), influencia a ciclagem de nutrientes e estruturação do solo, infiltração, retenção de água e suscetibilidade à erosão (SOUZA et al., 2019), sendo assim, a determinação de C orgânico do solo serve como um indicador-chave da qualidade do solo, haja vista a sensibilidade ao manejo do solo (MENGISTU; BEWKET; LAL, 2015).

O solo é considerado, em ambiente terrestre, o principal reservatório de C e apresenta estoques de C superiores à cobertura vegetal (SILVA et al., 2015). Em regiões tropicais, como é caso da pesquisa, a redução dos estoques de C no solo é mais acelerada, pois as condições climáticas que favorecem a atividade microbiana, acelerando a decomposição dos resíduos orgânicos depositados no solo e como fator adicional ainda tem-se a prática de revolver o solo durante o preparo que acelera a oxidação da matéria orgânica do solo, provocando sua mineralização e, por outro lado, frequentemente, intensificando as perdas por erosão (BARROS et al., 2013).

O estoque de C pode ser mensurado para avaliar a qualidade química de um solo. De acordo com Oliveira et al. (2015) o conhecimento da variabilidade e espacialização dos estoques de C no solo é condicionado pelos componentes da paisagem expressos por: clima; relevo; classes de solo; e tipos de cobertura vegetal e uso da terra. Diante do que foi exposto anteriormente, observa-se que muitos são os fatores que podem diminuir, aumentar ou permanecer estáveis o estoque de C no solo, tais como o preparo do solo com revolvimento, retirada da cobertura do solo entre outros que refletirão na qualidade do solo.

Estudos feitos avaliando o estoque de carbono e gerenciamento de carbono do solo em usos da terra agrícola permitiu avaliar a sustentabilidade do uso da terra em relação ao gerenciamento de carbono (GNANAVELRAJAH et al., 2008). Utilizando a mata nativa como uma base comparativa de áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes manejos, quanto maior o estoque de carbono e das frações humificadas da matéria orgânica do solo melhores serão os atributos relacionados à fertilidade do solo (ROSSET et al., 2014). Entretanto, quando há o cultivo de cana-de-açúcar sob longa duração pode-se encontrar valores de C que aumentam e, ou, diminuem a depender do manejo adotado (uso de torta de filtro, vinhaça) (SIGNOR et al., 2014) e isso relaciona-se com a qualidade química do solo, principalmente sobre a fertilidade natural (MELLO et al., 2015). As práticas conservacionistas do solo contribuem para uma menor perda de propriedades químicas do solo.

2.5 Indicadores da qualidade física do solo

Quando se fala em qualidade física do solo, é relevante entender a estrutura do mesmo, pois o efeito das práticas de manejo reflete na estabilidade estrutural indicando a influência de sistemas de uso (SILVA et al., 2018). Vários são atributos que podem ajudar a mensurar a qualidade por meio de análises.

Os atributos da qualidade física do solo mais avaliados são densidade do solo, porosidade total, condutividade hidráulica (SOARES et al., 2018; RAMOS et al., 2019); estabilidade de agregados (SIQUEIRA et al., 2014); resistência à penetração (JESUS et al., 2015); entre outros. Todos estão relacionados com o manejo empregado.

Sistemas agrícolas estão degradando a qualidade física pelos diferentes manejos intensivos adotados, e principalmente, quando há a substituição da vegetação nativa (ARCOVERDE et al., 2015). Com esta substituição da vegetação nativa, percebe-se uma série de problemas como a diminuição da fitomassa que protege o solo. Para que haja uma qualidade física satisfatória é necessário que as áreas agrícolas apresentem maiores quantidade e diversidade da fitomassa disponibilizada ao sistema solo (ASSIS et al., 2015).

Vasconcelos et al. (2014) ao avaliar indicadores da qualidade física do solo de acordo com o manejo da cultura da cana-de-açúcar ao longo do tempo perceberam alterações nos atributos físicos do solo, como aumento da densidade e o grau de compactação e redução da condutividade hidráulica saturada quando comparados com a mata nativa. Tezolin et al. (2021) avaliando o efeito do manejo na qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de produção, encontraram maiores valores para densidade do solo e menores DMP e DMG na área de cana-de-açúcar nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm o que indica uma menor qualidade física nessa área quando comparado com a mata. Além disso, é importante salientar que, a estabilidade de agregados diminui com o tempo de cultivo (KUNDE et al., 2018).

2.6 Macroagregados do solo como indicadores de qualidade

A atividade antrópica causa degradação dos solos em decorrência de manejos inadequados (MARCHINI et al., 2015). Essa degradação afeta diretamente a qualidade estrutural dos solos (BERTOL et al., 2001). Essa qualidade estrutural pode ser observada através dos agregados presentes ou ausentes no solo, pois em solos que apresentam agregados estáveis de maior tamanho, encontra-se também uma qualidade estrutural melhor e mais resistente a processos erosivos. A agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a

infiltração de água, pelo fato de aumentar a macroporosidade entre os agregados, como também garantir a microporosidade e a retenção de água no interior dos agregados (AGNE; KLEIN, 2014).

Segundo Inagaki et al. (2016), o nível de agregação do solo é um atributo utilizado para avaliação da qualidade física do solo devido à sua elevada sensibilidade a mudanças, mas também por conta da correlação com o acúmulo de carbono (C), variando de acordo com a fração mineral, raízes, agentes inorgânicos, microrganismos, fauna do solo e condições ambientais (SALTON et al., 2008). Pode-se classificar os agregados em classes de tamanho em função do seu diâmetro, e variam de acordo com o manejo adotado e também das características do solo, bem como o COT no solo (LOSS et al., 2014). Segundo Tivet et al. (2013) e De Oliveira Ferreira et al. (2018) macroagregados são classificados em extragrandes (8 – 19 mm), grandes (2 – 8 mm) e pequenos (0,25 – 2 mm).

Inagaki et al. (2016) observaram que quando há o revolvimento do solo com arado e gradagem, ou seja, preparo convencional, encontra-se maior representatividade de macroagregados pequenos (0,25 – 2 mm), enquanto que em áreas com plantio direto encontra-se os macroagregados grandes (2- 8 mm) e extragrandes (8-19 mm). Ainda de acordo com esses autores, cerca de 75% do total de macroagregados estão em ambiente subtropical, chegando a apresentar estoques de C de até 50 Mg ha⁻¹ na camada 0-20 cm enquanto que no ambiente tropical devido às intempéries climáticas e manejos inadequados essa representatividade é reduzida para cerca de 54% com um estoque de C em torno dos 17 Mg ha⁻¹ na mesma profundidade. É importante ressaltar que a textura do solo influencia nesse maior ou menor estoque de carbono, haja vista que em solos com texturas mais arenosas há um menor estoque de carbono enquanto que em solos mais argilosos esse estoque tende a ser maior (LAL, 2007). Além disso, outros fatores como clima, terreno, vegetação, mineralogia do solo e interações entre si, controlam os estoques de carbono originais (TORNQUIST et al., 2009).

Oliveira et al. (2016), pesquisando alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais, afirmaram que a matéria orgânica é um atributo de extrema contribuição para a agregação e estabilização dos agregados do solo. Tisdall e Oades et al. (1982) e Oliveira et al. (2016) asseguram que agentes orgânicos transientes como polissacarídeos produzidos por fungos e bactérias atuam na estabilidade de pequenos macroagregados.

Os macroagregados também apresentam estabilidade por agentes temporários (hifas de fungos e raízes), sendo que as raízes podem apresentar ação mecânica, mantendo pressão nos constituintes do solo, e química por meio de exsudatos das raízes (BASTOS et al., 2005).

Segundo Costa Junior et al. (2012), a estabilização dos macroagregados se dá pela união de microagregados que são mantidos unidos pela presença de materiais orgânicos persistentes e substâncias poliméricas associados a materiais temporários, como raízes de plantas e hifas de fungos. Em adição a isso, o teor de argila favorece a maior agregação do solo (SILVA et al., 2014), por ocasião da superfície específica ser significativa bem como a presença de cargas negativas permanentes (DUFRANC et al., 2004). Além disso, presença de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, e caulinita, ajudam na alta estabilidade do solo por formarem uma microestrutura típica devido à força de adesão entre as partículas (MADARI, 2004)

O uso dos macroagregados como indicador da avaliação da qualidade física do solo se dá pelo fato de ser um atributo muito sensível ao manejo empregado no solo, pois quando há a quebra dos macroagregados, a matéria orgânica será exposta aos processos de decomposição pela biomassa microbiana o que acarretará na diminuição estoque de C do solo (TIVET et al., 2013), acarretando uma perda da QS. Seben Junior et al. (2016), afirmam que o C armazenado na fração média de partículas aumenta a agregação do solo, e dependendo do manejo pode haver efeitos mais nocivos para a estrutura do solo, pela menor estabilidade de agregados (OLIVEIRA et al., 2008).

A agregação do solo em áreas sob manejos convencionais é prejudicada pelo preparo do solo com aração e gradagem, diminuindo os índices de agregação do solo, tais como os diâmetro médio geométrico e ponderado (LOSS et al., 2015). Já o cultivo mínimo tende a aumentar a agregação do solo, pois esta prática visa diminuir o revolvimento do solo e consequentemente a atenuação da perda da matéria orgânica do solo preservando a estrutura do solo e estabilidade de agregados (LLANILLO et al., 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local e Coleta de Solo

O trabalho foi realizado em uma área da Usina Trapiche, no município de Sirinhaém, Pernambuco (**Figura 1**), com monocultivo de cana-de-açúcar (> 60 anos) pareado com uma vegetação nativa (VN) (> 120 anos) da Zona da Mata de Pernambuco. A área sob VN está localizada próxima (vizinha) dos campos de cultivo, com área preservada que será selecionada como uma linha de base para comparações em relação às variáveis estudadas. O histórico das áreas está disposto na Tabela 1.



Figura 1. Área de estudo, Usina Trapiche, Município de Sirinhaém-PE. Fonte: Adaptações do Google Maps, 2020

Tabela 1. Descrição detalhada das áreas do estudo

Áreas de Coleta	Descrição/Histórico
Vegetação Nativa (VN)	Apresenta espécies de porte arbóreo, arbusto e herbáceo. As principais espécies encontradas são cupiúba (<i>Goupia glabra</i> Aubl.), imbaúba (<i>Cecropia pachystachya</i>), leiteiro (<i>Euphorbia heterophylla</i>), sucupira (<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth), murici (<i>Byrsonima crassifolia</i>), entre outras. A VN já existia quando a empresa foi fundada. A empresa foi fundada há 129 anos. A área de VN está sob um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sendo uma parte de encosta e outra de chã (área plana, sem ou com bem pouco desníveis). A VN fica pareada (vizinha) com as áreas de cana-de-açúcar.
Cana-de-açúcar com cultivo mínimo (CM)	Esta área de coleta encontra-se no lote 14, sob coordenadas geográficas 08°32'24,4" S e 035°05'59,0" W, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e com produtividade de 70 TCH (Toneladas de Cana por Hectare). A cana-de-açúcar foi implantada há mais de 60 anos sob cultivo mínimo (com a finalidade de reduzir o revolvimento e compactação pelo menor uso de maquinários agrícolas, bem como permanência dos restos vegetais entre as linhas da área). Utiliza-se o sulcamento em nível na linha para plantio. Este lote encontra-se sob uma chã (área plana, sem ou com bem pouco desníveis) com a variedade de cana RB 92 579. De 2010 a 2017 a variedade utilizada foi a RB 86 3129. Em 2019 e 2020 implantou-se a RB 92 579. O manejo empregado nesta área é utilizando calagem, adubação química, tratos culturais com o uso de produtos químicos e limpa manual e controle das principais pragas. Utiliza-se o calcário dolomítico para correção e uma formulação química de NPK (14-07-22). Estas aplicações acontecem na 4ª folha, ou seja, após 3 anos da cana plantada. Mesmo com prática do cultivo mínimo nas áreas, ocorre trânsito de tratores, carregadeiras de cana e caminhões anualmente para a colheita da cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar passa por uma queima controlada (planejamento do uso de fogo) e em sequência o corte manual, para o carregamento e transporte mecanizado. Há cada 6 anos aproximadamente é feita a renovação dos canaviais.
Cana-de-açúcar com cultivo convencional (CC)	Geograficamente, encontra-se nas coordenadas 08°32'50,0" S e 035°06'06,6" W e lote 17, também sob um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com produtividade de 65 TCH. Nesta área a implantação da cana-de-açúcar existe a mais de 60 anos sob cultivo convencional (uso de operações agrícolas como a gradagem e aração). É feito o sulcamento em nível. Este lote encontra-se sob uma encosta com a variedade de cana SP 78-4764. Nos anos de 2010, 2011, 2018, 2019 e 2020 utilizaram a variedade SP 78- 4764 e de 2012 a 2017 a variedade SP 70-1011. O manejo empregado nesta área é utilizando calagem, adubação química, tratos culturais com o uso de produtos químicos e limpa manual e controle das principais pragas. Utiliza-se o calcário dolomítico para correção e uma formulação química de NPK (14-07-22). Estas aplicações acontecem na 4ª folha, ou seja, após 3 anos da cana plantada. Ocorre trânsito de tratores, carregadeiras de cana e caminhões anualmente para a colheita da cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar passa por uma queima controlada e em sequência o corte manual, para o carregamento e transporte mecanizado. Há cada 6 anos aproximadamente é feita a renovação dos canaviais.

Foram feitas 15 trincheiras ao acaso, em áreas pareadas com mesma ordem de solo e textura, onde 5 foram em área sob cultivo de cana-de-açúcar com cultivo mínimo (> 60 anos), 5 em área de cana-de-açúcar com cultivo convencional (> 60 anos) e 5 em uma área de vegetação nativa (VN). As trincheiras foram abertas em transecto, com dimensões de 20x 20 x 20 cm. As amostras de solo foram coletadas em bloco, com o auxílio de uma pá reta em três profundidades 0-5 cm; 5-10 cm e 10-20 cm (**Figura 2**). Para manutenção das características dos blocos coletados como umidade, será utilizado um plástico filme para envolver cada bloco bem como inserir a identificação.

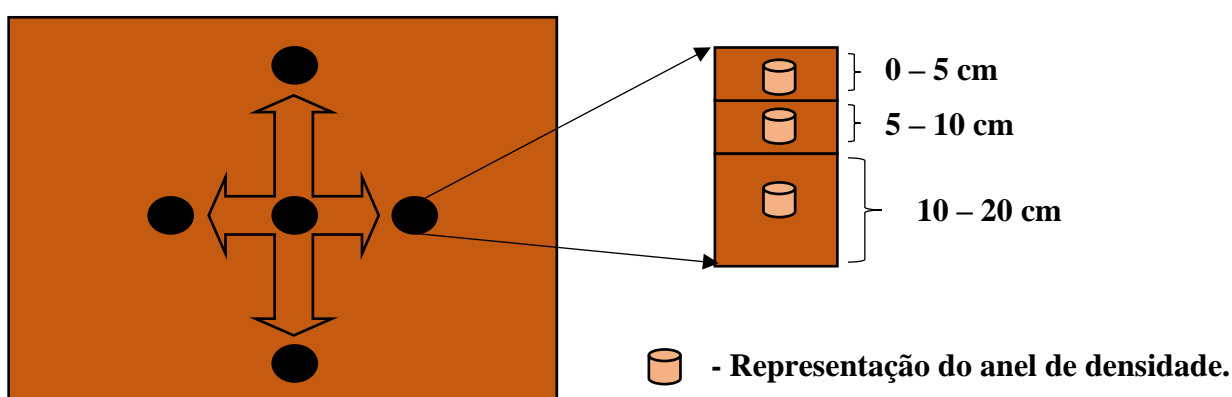


Figura 2. Representação esquemática da coleta de amostras e anéis de densidade de solo nas áreas de cana-de-açúcar sob os diferentes manejos (mínimo e convencional) e em área de vegetação nativa

3.2 Densidade do Solo (DS)

Para a DS de cada trincheira aberta foram coletadas amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos (**Figura 3**) de acordo com a Teixeira et al. (2017) nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.



Figura 3. Coleta e embalagem em plástico filme dos anéis para densidade do solo

Após a coleta, as amostras indeformadas foram levadas ao laboratório de física do solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde foram feitos *toilets* dos excessos de solo dos anéis com o auxílio de faca e borrifador de água, com o intuito de deixar o volume do anel preenchido sem excesso. Em sequência todos os anéis foram colocados em latas para posterior secagem em estufa à 105° C por 24 h (**Figura 4**).



Figura 4. Anel feito toilet (a); anéis nas latas para serem levados à estufa (b); anéis na estufa à 105° C (c)

Depois da secagem dos anéis em estufa, foram transferidos para o dessecador com o intuito de diminuir a temperatura do anel + solo para posterior pesagem e medições dos anéis. Foram feitas 6 medições do diâmetro de cada anel, três na parte superior e três na inferior. Além dessas, ainda foram feitas três medições da altura de cada anel para em seguida obter-se a média dessas medições para cada anel e calcular o volume referente.

As amostras de densidade foram pesadas da seguinte maneira: primeiro obtivemos o peso do anel + solo e depois o peso apenas do anel, para posteriores cálculos.

O valor da densidade do solo foi obtido pela equação (1) de acordo com (TEIXEIRA et al., (2017):

$$D_s = \frac{ms}{Vol}; \quad (1)$$

Onde:

D_s = Densidade do solo;

ms= massa da amostra seca na estufa por 24 horas a 105 ° C até o peso ficar constante, em g, e
Vol = Volume do cilindro que deve ser em cm³.

3.3 Análise Granulométrica

Para esta análise foi utilizado o método do densímetro descrito por TEIXEIRA et al., 2017, combinado com adaptações proposta por GEE e Or, 2002 de acordo com a **figura 5**. Essa metodologia utiliza o meio mecânico e estabilização da amostra por meio do agitador mecânico e dispersão com Cálgon, havendo separação das frações mediante peneiramento e sedimentação.



Figura 5. **a:** Amostras peneiradas e acondicionadas de TFSA; **b:** amostras pesadas; **c:** amostras pesadas nas garrafas mais Cálgon e água até peso de 200 g; **d:** inserção das garrafas no agitador do tipo Wagner por 16 h; **e:** montagem das colunas com o volume contido nas garrafas retiradas do agitador para descanso de 24h; **f:** lavagem das amostras para separação da areia utilizando peneira

A granulometria foi feita utilizando 50 g de TFSA pesados e inseridos em garrafas plásticas com a adição de 25 mL do dispersante Cálgon e mais 100 mL de água. Em sequência, as garrafas plásticas foram pesadas até peso de 200 g, as que não obtiveram esse peso foram adicionadas gotas de água com o auxílio de um conta-gotas, foram tampadas e levadas para o agitador do tipo Wagner por 16 horas com uma rotação de 50 rpm. Decorrida a agitação, retirou-se as garrafas e foram transferidos o volume para provetas de 1 L. Completou-se até o volume de 940 mL e esperou um tempo de descanso de 24 h para a leitura da argila com o densímetro.

Após a leitura com o densímetro, as amostras foram levadas para lavagem utilizando uma peneira de 0,053 mm e água corrente para separação da areia. A massa de areia de cada

amostra foi transferida para latas previamente identificadas e, em seguida, levadas para secar em estufa à 105° C até peso constante.

O valor da argila foi obtido com a sedimentação da areia e silte, os valores da massa da areia foram feitos por pesagem após lavagem e secagem e o silte encontrou-se por diferença pela fórmula: %Silte = 100 – (% areia + % argila) citada em Almeida (2008).

3.4 Estabilidade de Agregados

Os macroagregados foram separados de acordo com Yoder (1936) nos diâmetros em 2 – 8, 0,25 – 2 mm, ou seja, macroagregados grandes e pequenos, respectivamente. Porém com modificações propostas por Nimmo e Perkins (2002), com peneiras com malhas de 7,1 e 4,76 mm (**Figura 6**). As amostras de solo foram separadas nas classes de macroagregados pelos pontos de fraqueza.

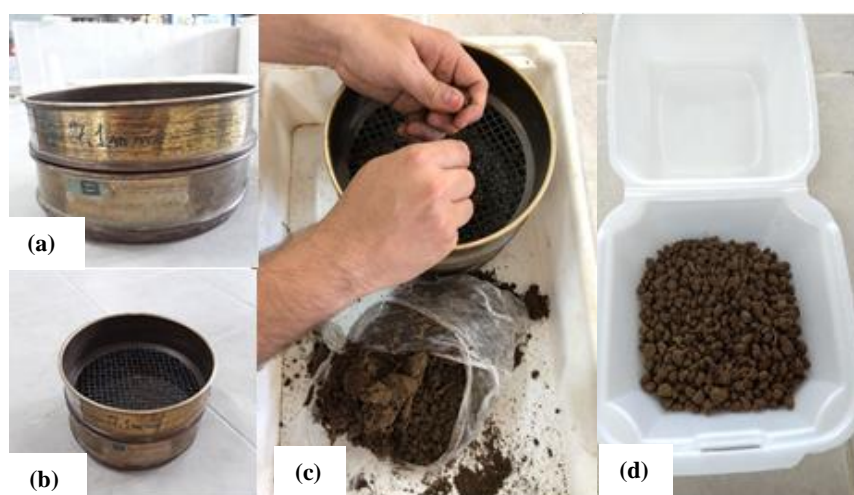


Figura 6. Peneiras de 7,1 e 4,76 mm (a) e (b); separação dos agregados no ponto de fraqueza (c) e agregados separados e pesados (d)

Após a separação, foram pesados 100 g (**Figura 6 (d)**) dos macroagregados e foram subdivididos em subamostras de 25 g para serem inseridos no Yoder (1936) para obtenção da distribuição utilizando tamisamento via úmido (**Figura 7**). Dessas 100 g de solo foram separados mais 25 g para secarem em estufa e calcular o fator de correção de forma a converter a massa de solo inicial seca ao ar em agregados secos em estufa.

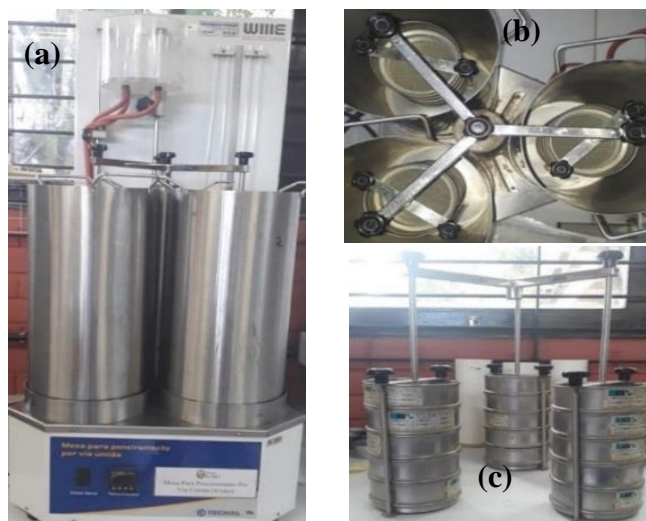


Figura 7. (a) Yoder da Universidade Federal Rural de Pernambuco, possui três colunas com os jogos de peneiras inseridas no interior de cada coluna; (b) Interior das colunas do Yoder com as peneiras; (c) conjunto de peneiras de cada coluna do Yoder

Cada subamostra foi umedecida com álcool 96°, por capilaridade, durante 10 minutos para não haver o rompimento dos macroagregados, de forma direta, quando houver contato com a água (**Figura 8**). Em seguida, as amostras foram colocadas no Yoder com água por 15 minutos perfazendo 26 oscilações por minuto.

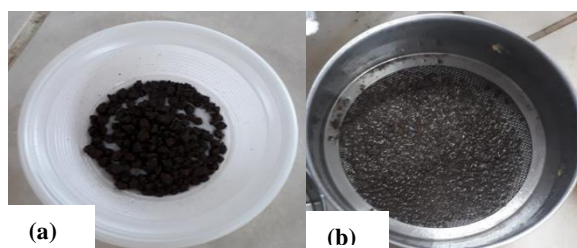


Figura 8. Amostra umedecida com álcool 96° (a); amostra de solo na peneira do Yoder (b)

Após esta etapa, cada massa de agregado retido, nas diferentes peneiras, foi transferida para latas com pesos conhecidos e levadas para estufa à 105°C por 24 h (**Figura 9**).



Figura 9. Massa de solo retida nas peneiras (a); massa de solo separada em latas para estufa; latas na estufa (c)

Após a secagem das amostras de solo, em estufa, foram feitas pesagens para os cálculos de massa proporcional de agregados (MPA) e massa da classe de macroagregados (MCA). Para o cálculo da MPA e MCA foram utilizadas as seguintes equações de acordo com De Oliveira Ferreira et al. (2018), respectivamente (2) e (3):

$$MPA (\%) = \frac{\text{massa da classe (kg)}}{\sum \text{massa da classe (kg)}} \times 100 \quad (2)$$

E para a massa da classe de macroagregados (MCA) utilizou-se a seguinte fórmula:

$$MCA (\%) = \frac{\text{massa de solo (Mg)} \times \% \text{ COS ou COP em cada classe}}{100} \quad (3)$$

O estoque de carbono das classes de agregados foi calculado segundo De Oliveira Ferreira et al., 2018, conforme equação (4):

$$\text{Est. de COS na CA (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Estoque COS (Mg) na amostra de solo} \times \% \text{ COS em CA}}{100} \quad (4)$$

Onde: Est. de COS: Estoque de Carbono Orgânico do Solo; CA: Classe de Agregado.

Com o intuito de ter mais opções para avaliar o estado de agregação e distribuição de agregados, bem como a qualidade do solo, foram utilizadas as seguintes equações de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (5); o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) (6); e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) (7) que estão de acordo com CASTRO FILHO et al., (1998).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (5)$$

Onde: x_i = diâmetro médio das classes (mm); w_i = proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

Onde: w_p = peso dos agregados de cada classe (g);

$$IEA = \left(\frac{\text{Peso da amostra seca} - w_{p25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Em que: w_{p25} = peso dos agregados da classe $< 0,25$ mm.

3.5 Análises químicas

As amostras de solo, para as análises químicas, foram coletadas e separadas em sacolas de plásticos. Estas amostras foram destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm e colocadas em ambiente que não teve influência direta da luz solar e com circulação da ventilação natural para secar as amostras, obtendo-se a TFSA.

Para estas análises, utilizou-se o manual de métodos de análise de solo conforme Teixeira et al., (2017). Foram avaliados os seguintes parâmetros químicos: pH, Al, P, K, Na, Ca, Mg, e após esses parâmetros analisados, foram feitos cálculos da Soma de Bases (S), CTC efetiva (t), CTC a pH=7 (T), Saturação por Bases (V%) e Saturação por Alumínio (m%).

A medição do potencial hidrogeniônico, ou seja, o pH foi feito em água numa proporção 1:2,5. Pesou-se 10 g de TFSA e colocou em um copo plástico de 50 mL e adicionou 25 mL de água. Agitou-se o conteúdo do copo por cerca de 60 segundos e esperou descansar por um período de 1h. Após o período de descanso, agitou-se rapidamente o conteúdo do copo (solo + água) e fez-se a leitura imergindo o eletrodo na suspensão.

No caso do fósforo disponível (P), pesou-se 10 g de TFSA e foram colocadas dentro de erlenmeyers junto com 100 mL do extrator Mehlich-1. Após esse primeiro procedimento, agitaram-se os erlenmeyers em agitador circular horizontal e deixou-se descansar durante uma noite. Depois do descanso foi pipetado cerca de 25 mL e transferido para recipientes plásticos para seguir a análise. Nesses 25 ml foi adicionado 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio e houve uma agitação para misturar as soluções. Em seguida as amostras foram levadas a um espectrofotômetro e realizadas as leituras. No caso das amostras que tiveram alto teor de P disponível, o que levou a superar o valor da curva padrão de calibração do equipamento, foram feitas diluições.

Para o potássio (K^+) e sódio (Na^+) trocáveis, também foi utilizado o extrator Mehlich-1 e o mesmo extrato obtido na análise de P disponível. Foram utilizados cerca de 10 mL para a realização das leituras em um fotômetro de chama. Para as amostras que ultrapassaram o maior valor da curva padrão, foram feitas diluições.

Os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram analisados pelo extrator KCl 1 mol L^{-1} . Obedecendo a proporção de 1:10, foram pesadas 5 g de TFSA e adicionadas em erlenmeyers junto com 50 mL do KCl 1 mol L^{-1} . Depois foram agitados no mesmo agitador horizontal circular que as amostras para P disponível e depois houve o repouso das amostras por uma noite. Em seguida, foram pipetados cerca de 45 mL do extrato para alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocáveis.

Do volume do extrato coletado, utilizou-se 25 mL para as análises de Al^{3+} . A este extrato foram adicionadas três gotas indicador azul de bromotimol, em sequência, fez-se a titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} , observando a mudança da cor amarela do extrato para verde-azulada.

Ca^{2+} e Mg^{2+} foram analisados por absorção atômica. As leituras foram feitas obedecendo a proporção de 1:100, em situações onde o equipamento não conseguiu fazer a leitura houveram diluições de 20, 50 e 100 vezes. Em síntese, foram utilizados 0,1 mL do extrato, mais 4,9 mL de KCl e 5 mL de estrôncio, homogeneizou a amostra e fez a leitura. Foram feitas curvas diferentes para a leitura desses elementos conforme metodologia.

A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi feita com extrator acetato de cálcio a pH 7,0. Foram utilizados para cada amostras 5 g de TFSA mais 75 mL do extrator 0,5 mol L^{-1} transferidos para erlenmeyers, depois foram feitas agitações por 10 minutos e esperou-se uma noite de repouso para realizar a análise. Após o repouso, foram adicionadas três gotas de fenolftaleína e fez-se a titulação com a solução padronizada de 0,025 mol L^{-1} de NaOH até observar a cor rósea.

Para o cálculo da Soma de Bases (SB) foi utilizada a equação (9):

$$S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ \quad (9)$$

A Capacidade de Troca Catiônica (T) foi calculada pela equação (10):

$$T = \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) \quad (10)$$

A CTC efetiva (t) foi calculada pela seguinte equação (11):

$$t = \text{SB} + \text{Al}^{3+} \quad (11)$$

A saturação por bases (V%) foi obtida pela equação (12):

$$V\% = \left(\frac{\text{SB}}{T} \right) \times 100 \quad (12)$$

E a saturação por alumínio (m%) calculada de acordo com a equação (13):

$$m\% = \left(\frac{Al3 +}{SB + Al3 +} \right) \times 100 \quad (13)$$

3.6 Carbono Orgânico Total (COT)

O COT para cada amostra foi realizado por Walkley-Black com adaptação proposta por Yeomans e Bremner (1998), ou seja, determinado por oxidação via úmida por meio do uso de dicromato de potássio e ácido sulfúrico com fonte extra de calor.

As amostras de solo (TFSA) utilizadas nesta análise foram moídas e passadas em peneiras de 60 mesh. Em seguida, pesou-se entre 0,1 e 0,3 g dessa da massa da TFSA peneirada e transferiu para tubos de vidro. Após isso, foram adicionados, em cada tubo, 5 mL de dicromato de potássio ($0,167 \text{ mol l}^{-1}$) e 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Depois os tubos foram inseridos em bloco digestor pré-aquecido a $170 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 minutos. Após esse tempo, o equipamento foi desligado e esperou-se cerca de 15 minutos para esfriar e transferir o volume de cada tubo para erlenmeyers de 250 mL.

Após a transferência do volume para os erlenmeyers, completou-se o volume de cada erlenmeyer com água destilada até 80 mL e esperou esfriar a temperatura ambiente para fazer a leitura por titulação.

Para titular, utilizou-se a solução de sulfato ferroso amoniacal ($0,2 \text{ mol l}^{-1}$) e mais 0,3 mL do indicador Ferroin (cerca de 3 gotas). As 3 gotas de Ferroin foram colocadas em cada erlenmeyer por vez. A solução de sulfato ferroso amoniacal foi colocada em buretas e em seguida feita a titulação das amostras observando a viragem da cor para violeta-escuro.

Para cada bateria analisada foram feitos 4 brancos com intuito de ajudar a entender o cálculo de COT, 2 deles aquecidos juntos às amostras de COT e 2 deles não receberam aquecimento.

O cálculo do teor de carbono orgânico foi realizado através das equações (14) e (15) a seguir:

$$A = [(Vba - Vam) * (Vbn - Vba) / Vbn] + (Vba - Vam) \quad (14)$$

Onde:

- Vba é o volume gasto na titulação do branco controle que recebeu aquecimento;
- Vbn é o volume gasto na titulação do branco controle que não recebeu aquecimento;
- Vam é o volume gasto na titulação da amostra.

Em seguida foi feito o seguinte cálculo:

$$CO \text{ (dag kg}^{-1}\text{)} = \frac{A*M*3*100}{pa} \quad (15)$$

Onde:

- A é valor da equação anterior;
- M é o valor da molaridade do sulfato ferroso;
- 3 é a constante utilizada referente ao número de mols de $Cr_2O_7^-$ que reagiu ou reagem com Fe^{2+} multiplicado por números de mols de $Cr_2O_7^-$ que reagem com C^0 , sendo multiplicado por 12 (massa atômica de C);
- 100 é o fator que vai converter o peso de mg mg^{-1} para dag kg^{-1} ;
- pa é o peso da amostra em mg.

Após cada cálculo, os resultados encontrados foram multiplicados por 10 para ter o valor em g kg^{-1} .

Após o procedimento desta análise e de posse dos resultados encontrados, os estoques de C foram calculados, com base no método de massa equivalente de solo (ELLERT; BETTANY, 1995), tomando como referência a massa de solo da vegetação nativa (Mata Atlântica).

3.7 Análise estatística

Os dados outliers foram removidos por meio de boxplots e a normalidade foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A análise estatística foi realizada com o software estatístico SISVAR 5.0. As diferenças na concentração e estoque de carbono foram testadas por meio de análise de variância (teste F). Os valores médios dos resultados de macroagregados, COT e estoque de C foram comparados com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (FERREIRA, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos e químicos das áreas de vegetação nativa e cana-de-açúcar sob diferentes manejos

4.1.1 Análises granulométricas

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que a fração areia foi predominante nas três áreas avaliadas. A área de vegetação nativa apresentou uma diferença entre as áreas de CM e CC de 104,3 g kg⁻¹ e 69 g kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm, respectivamente. Em 5-10 cm de profundidade, essa diferença foi de 61,9 g kg⁻¹ em comparação da VN com CM enquanto que VN e CC foi de 36,9 g kg⁻¹. A VN na profundidade de 10-20 cm também foi superior em relação às áreas de CM e CC em 60,6 g kg⁻¹ e 58,8 g kg⁻¹, respectivamente.

A fração argila, também de acordo com a Tabela 2, nas três áreas e nas três profundidades, aumentaram em profundidade. A VN obteve os menores resultados para argila, seguida da área de CC, e por fim CM. Na profundidade de 0-5 cm a área de CM apresentou 93,5 g kg⁻¹ a mais que VN e 52,7 g kg⁻¹ a mais que CC. Para a profundidade de 5-10 cm, houve semelhante comportamento, onde CM obteve 48,6 g kg⁻¹ a mais que VN e 44,8 g kg⁻¹ a mais que CC. De 10-20 cm, a área de CM teve 45,3 g kg⁻¹ superior a VN enquanto que em comparação à CC esse valor foi maior em 17,6 g kg⁻¹.

A Tabela 2 também apresenta os resultados da fração silte nas três áreas e nas diferentes profundidades. Em todas as profundidades a fração silte foi maior para a CC, onde em 0-5 cm esse valor foi de 28,1 g kg⁻¹ a mais que VN e 17,3 g kg⁻¹ em relação à CM. No caso da profundidade de 5-10 cm essa diferença da CC em relação à VN foi de 33,1 g kg⁻¹ e para CM foi de 19,8 g kg⁻¹. Dentro da profundidade de 10-20 cm a CC foi superior em relação à VN em 31,1 g kg⁻¹ e 15,8 g kg⁻¹ a mais que CM.

Todas as áreas do estudo foram semelhantes na análise granulométrica com classificação, de acordo com o triângulo textural, em Franco-argilo-arenoso para todas as áreas e profundidades estudadas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios das análises granulométricas das diferentes áreas de estudos da Usina Trapiche na Zona da Mata Pernambucana

Uso agrícola e manejo do solo	Camada cm	Areia	Argila	Silte	Textura
		----- g kg ⁻¹ -----			
VN	0-5	741,4 ±4,27	215,0 ±3,98	43,6 ±1,74	Franco-argilo-arenoso
CM		637,1 ±3,96	308,5 ±3,36	54,4 ±0,86	Franco-argilo-arenoso
CC		672,4 ±3,57	255,8 ±3,73	71,7 ±2,35	Franco-argilo-arenoso
VN	5-10	680,9 ±2,08	276,5 ±2,36	42,6 ±0,50	Franco-argilo-arenoso
CM		619,0 ±2,08	325,1 ±2,46	55,9 ±0,44	Franco-argilo-arenoso
CC		644,0 ±2,08	280,3 ±3,06	75,7 ±1,26	Franco-argilo-arenoso
VN	10-20	655,3 ±2,16	305,8 ±1,48	38,9 ±1,43	Franco-argilo-arenoso
CM		594,7 ±1,52	351,1 ±1,03	54,2 ±0,80	Franco-argilo-arenoso
CC		596,5 ±2,97	333,5 ±3,40	70,0 ±1,49	Franco-argilo-arenoso

De acordo com a Tabela 2, pode-se perceber que a fração primordial nesta análise foi a areia variando em termos percentuais de 59,6% na área de CC na profundidade de 10-20 cm chegando a 74,1% de areia em VN como o maior resultado. Já para as frações mais fina das áreas estudadas, encontramos valores variando, para a argila, de 21,5% na profundidade mais superficial, ou seja, 0-5 cm para a VN e 35,1% na profundidade de 5-10 cm de CM. Além disso, para silte, encontramos valores que variaram de 3,9% para VN enquanto que o maior valor chegou a aproximadamente 7,6% em CC na profundidade de 5-10 cm. Todas as áreas do estudo se comportaram iguais para cada tratamento, onde encontramos os maiores valores na seguinte ordem: Areia > Argila > Silte.

4.1.2 Densidade do Solo (DS)

De acordo com a Tabela 3, os valores encontrados para a densidade do solo (DS), em g cm⁻³, na área vegetação nativa (VN) variam de 1,18 na profundidade de 0-5 cm a 1,24 na profundidade de 10-20 cm. Na profundidade de 5-10 cm o valor encontrado foi de 1,22 g cm⁻³. Já na área de cultivo de cana-de-açúcar sob cultivo mínimo (CM) os valores encontrados foram maiores: na profundidade de 0-5 o valor foi de 1,38 g cm⁻³, na profundidade de 5-10 cm o valor foi de 1,36 g cm⁻³ e 1,47 g cm⁻³ na profundidade de 10-20 cm. Para a área de cana-de-açúcar sob cultivo convencional (CC), os valores foram diferentes, encontrando na profundidade de 0-5 cm o valor de 1,44 g cm⁻³, entre 5-10 cm o valor encontrado foi 1,45 g cm⁻³ e para a última profundidade desta área (CC), ou seja, 10-20 cm o resultado encontrado foi de 1,47 g cm⁻³. Os resultados obtidos nas diferentes profundidades (0-5, 5-10 e 10-20 cm) para as áreas de CM e CC diferiram estatisticamente da área de referência VN a 5% probabilidade pelo teste Tukey

conforme Tabela 3. E comparando as áreas CM e CC houve apenas diferença estatística na profundidade de 10-20 cm. Numericamente as DS das áreas, em ordem crescente, são: VN < CM < CC em todas as profundidades.

Com o intuito prévio de descobrir a diferença entre as DS encontradas, ou seja, o grau de dispersão dos valores médios encontrados para cada área da DS na Tabela 3, foi calculado o desvio-padrão para cada profundidade das áreas de VN, CM e CC. Observando os valores de desvio-padrão consegue-se compreender que, para cada área, obteve-se uma homogeneidade entre as profundidades de cada área. Na VN, os valores variam de $\pm 0,03$ na profundidade de 0-5 cm a $\pm 0,08$ dentro dos 10-20 cm. Já na CM os valores apresentam uma menor homogeneidade, onde varia de $\pm 0,01$ em 5-10 cm a $\pm 0,11$ em 0-5 cm. E por fim, na área de CC, os valores mostram-se mais homogêneos e tem uma maior proximidade com os da área de VN mesmo apresentando valores de DS maiores. Os valores do desvio-padrão em CC variaram de $\pm 0,05$ a $\pm 0,10$.

A DS é um atributo que ajuda na compreensão da qualidade do solo e mais pontualmente na estrutura do solo. Para um melhor entendimento, um conceito importante nesta área é o de densidade do solo crítica a qual segundo Gubiani et al. 2014, é aquela que tem relação direta com o ponto zero do intervalo hídrico ótimo (IHO) e varia de acordo com a classe textural (REINERT et al. 2008). Reichert et al. 2003, em pesquisas a outras literaturas, encontraram valores de densidade crítica variando de 1,45 a 1,80 Mg m⁻³, dependendo da classe textural. Tais limites podem causar problemas no desenvolvimento das plantas. Ou seja, valores acima dessa faixa podem causar problemas no desenvolvimento das plantas, e mais precisamente o crescimento radicular. Os valores de DS encontrados nas áreas de VN e CM apresentados na Tabela 3 estão abaixo dos limites encontrados por Reichert et al. 2003 e que podem estar relacionados com o crescimento radicular segundo Reinert et al. 2008, enquanto que os da área com CC estão entre os limites.

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo (Ds) das áreas de vegetação nativa (VN), e cana-de-açúcar sob diferentes manejos

Uso e Manejo	----- Ds (g/cm ³) -----		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
Vegetação Nativa (VN)	1,18 ^{±0,07} B	1,22 ^{±0,03} B	1,24 ^{±0,08} C
Cana-de-açúcar sob cultivo mínimo (CM)	1,38 ^{±0,11} A	1,36 ^{±0,01} A	1,36 ^{±0,03} B
Cana-de-açúcar sob cultivo convencional (CC)	1,44 ^{±0,06} A	1,45 ^{±0,10} A	1,47 ^{±0,05} A

Letras maiúsculas diferentes nas colunas entre os tratamentos indicam diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As DS na área de VN apresentam os menores resultados pelo fato da área não ter intervenção antrópica, tráfego de animais, máquinas agrícolas e apresentar teores elevados de carbono em relação à implantação das áreas cultivo de cana-de-açúcar. Ou seja, é uma área que apresenta as condições naturais preservadas com pouca ou nenhuma intervenção antrópica, teores elevados de M. O. e a riqueza da fauna (DEMARCHI; PERUSI; PIROLI, 2011). Resultados semelhantes encontrados por Miranda; Cogo; Vilela (2017) e Lisbôa; Miranda, (2014), em relação a densidade do solo, corroboram com este estudo, os quais mostram as diferenças estatísticas entre Vegetação Nativa com menor densidade do solo e os diferentes usos agrícola com maior densidade. Jakelaitis et al. (2008), utilizando a vegetação nativa como meio comparativo com outras áreas cultivadas, por apresentar a menor DS na profundidade de 0-10 cm e também por não haver intervenção antrópica, justificaram que esse resultado se deu pela ausência de pressão mecânica na formação da pastagem e ou área de milho. Além disso, Lemos Filho et al. (2008), encontraram valores menos denso na camada de 0-20 cm justificando o fato pela maior quantidade M.O.

Na área de CM o valor da DS foi maior em relação ao da VN em cerca de $0,12 \text{ g cm}^{-3}$, ou seja, 9,7% maior em 10-20 cm de profundidade, o que já era esperado e pode ser explicado por ocasião do manejo empregado para a implantação do canavial. Além disso, resultados encontrados por Silva et al. (1992), em estudos comparativos entre áreas cultivadas com cana-de-açúcar (25 anos de cultivo) e vegetação nativa nas diferentes profundidades corroboram para os resultados desta pesquisa, onde a maiores densidades do solo se encontram em maior profundidade. De acordo com estes mesmos autores, a densidade na área de cana-de-açúcar com 25 anos de cultivo foi maior, aproximadamente, 10,24% em 0-20 cm de profundidade e que pode ser explicado pela diminuição do carbono de 2,01% em vegetação nativa para 1,70% para área de cana-de-açúcar, inferindo-se a M.O. Filizola e Barreto Luiz, (2018), analisando o monocultivo de cana-de-açúcar e as influências que podem ser causadas nas propriedades físicas do solo, observaram que na área de VN a DS principalmente nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm também foram menores em relação a todas as áreas de cana-de-açúcar mesmo elas estando sob cultivo mínimo.

Na área de CC a DS, conforme Tabela 3, apresentou uma densidade maior em relação à área de CM, em $0,11 \text{ g cm}^{-3}$, na profundidade de 10-20 cm e que diferenciou estatisticamente e pode ser justificado pelo manejo menos conservacionistas entre as áreas. Ao confrontar-se os resultados de VN com os de CC, encontramos na profundidade de 10-20 cm uma diferença estatística de 18,5%, ou seja, $0,23 \text{ g cm}^{-3}$ que pode ser explicado pelo manejo com maquinários

agrícolas na área tanto para a implantação do sistema quanto para a colheita, ocasionando maior pressão no solo bem como deixar o solo exposto às condições climáticas, com o revolvimento do solo, potencializando a compactação da área. Para Marcatto e Silveira, (2016) o elevado valor das densidades do solo nos diferentes usos da terra tem relação com o tipo de manejo empregado. Já para Roque et al. 2010 os maquinários agrícolas aumentam a DS bem como apresentam prejuízos em outras características físicas inerentes. Maciel et al. (2018) estudando sobre atributos químicos e físicos do solo sob diferentes manejos encontraram maior densidade do solo em área de sistema convencional e justificaram tais resultados pelo uso de maquinários para o preparo do solo e pouca cobertura vegetal. Além disso, o corte manual da cana-de-açúcar pode aumentar a pressão aplicada no solo pelo pisoteio.

O uso da prática da queima da palha em virtude da facilidade da colheita da cana-de-açúcar pelos trabalhadores do corte da cana nessas áreas também pode explicar uma maior densidade, pois há a diminuição da matéria orgânica presente na área expondo ainda mais o solo a pressões mecânicas e intempéries climáticas, bem como contribuir com uma camada superficial do solo (até 2 cm) mais compactada dificultando a entrada de água no perfil do solo, além de diminuir o volume de macroporos, e tamanho de agregados (REDIN et al., 2011). Ceddia et al. (1999), estudando sobre sistemas de colheita da cana-de-açúcar e as alterações causadas nas propriedades físicas do solo, afirmam que há um aumento significativo da densidade do solo quando há a prática da queima da cana-de-açúcar. Estes mesmos autores ainda informam que quando o solo fica exposto às gotas da chuva o solo tende ser mais denso.

Ao compararmos os resultados das DS de CM e CC, encontramos uma diferença estatística na profundidade de 10-20 cm. Essa diferença entre CM em relação ao CC é de aproximadamente 7,5% a menos, ou seja, a condição mais conservacionista do CM contribuiu para tal resultado. Resultados encontrados por Farhate et al. (2018) corroboram com esta pesquisa. Estes mesmos autores encontraram menor resultado de DS para áreas de CC.

4.1.3 Atributos químicos (Fertilidade do solo)

Os atributos químicos (Tabela 4) variaram dependendo da área estudada: pH variou de 4,2 a 5,7; Al^{3+} variou de 0,42 a 1,75 $cmol_c kg^{-1}$, P variou de 0,97 a 104,6 $mg kg^{-1}$; K^+ foi de 0,04 a 0,10 $cmol_c kg^{-1}$, Ca^{2+} obteve resultados em $cmol_c kg^{-1}$ variando de 1,92 a 5,2 e Mg^{2+} variou de 0,31 a 1,11 $cmol_c kg^{-1}$. Os resultados das somas de bases para a área de VN variou de 2,38 a 3,19 $cmol_c kg^{-1}$, para CM estes valores ficaram entre 4,78 e 6,04 $cmol_c kg^{-1}$, e para CC os valores foram de 4,78 a 6,46 $cmol_c kg^{-1}$. CTC efetiva (t) obedeceu a seguinte ordem VN <

CC < CM. Os resultados médios para CTC a pH=7 (T) foram de 13,06 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para VN, 11,82 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para CM e 8,97 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para CC. Os valores médios da Saturação por Bases (V%) das três áreas foram 20,43% para VN, 45,54% para CM e 64,7% para CC. A Saturação por Alumínio (m%) foi de 41,68% para VN, 8,85% para CM e 9,07% para CC.

Tabela 4. Caracterização química nas diferentes profundidades da Vegetação Nativa (VN), e cana-de-açúcar sob diferentes manejos

Uso e manejo do solo	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	P mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----						S	T	t	--- % ---	
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺				V	m
VN	0-5	4,2	2,78	0,10	0,08	2,47	0,54		10,68	3,19	13,87		22,58	
	5-10	4,3	2,04	0,08	0,06	2,08	0,31		10,39	2,52	12,91		19,45	
	10-20	4,2	0,97	0,07	0,05	1,92	0,34	1,75	10,03	2,38	12,41	4,12	19,27	41,68
CM	0-5	5,3	104,6	0,13	0,08	4,97	0,85		5,81	6,04	11,85		51,04	
	5-10	5,0	99,8	0,05	0,04	4,55	0,63		6,67	5,27	11,94		44,31	
	10-20	4,9	24,0	0,04	0,04	4,15	0,55	0,46	6,88	4,78	11,66	5,24	41,27	8,85
CC	0-5	5,7	101,64	0,07	0,07	5,20	1,11		2,62	6,46	9,08		72,29	
	5-10	5,3	36,8	0,05	0,05	4,93	0,79		3,30	5,82	9,11		65,31	
	10-20	4,9	13,0	0,04	0,04	4,14	0,59	0,42	3,87	4,78	8,68	5,22	56,45	9,07

P: Fósforo extraído por Mehlich-1 e lido por espectrofotômetro; K⁺ e Na⁺: Potássio e Sódio extraídos por Mehlich-1 e leitura por fotômetro de chama; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: Cálcio, Magnésio e Alumínio extraídos por KCl 1 mol L⁻¹. Cálcio e Magnésio foram lidos por absorção atômica e Alumínio por titulação com NaOH. H⁺+Al³⁺: Acidez potencial extraída com acetato de cálcio a pH 7,0 e lido por titulação com a solução padronizada de 0,025 mol L⁻¹ de NaOH. S: Soma de base; T: Capacidade de Troca de Cátions; t: Capacidade de Troca de Cátions efetiva; V: Saturação por Bases e m: saturação por alumínio. VN: Vegetação Nativa; CM: Cultivo Mínimo; CC: Cultivo Convencional.

4.2 Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e índices de estabilidade de agregados (IEA) em áreas de vegetação nativa e de cana-de-açúcar sob diferentes manejos

De acordo com a Tabela 5 abaixo, encontramos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) para VN variando de 4,72 a 4,79 que não diferem estatisticamente a uma probabilidade de 5% pelo teste de Tukey levando em consideração a comparação entre profundidade dentro da mesma área, encontrando uma diferença percentual máxima de aproximadamente 3,5%. Os resultados do DMP para a área de cana sob cultivo mínimo (CM), não foram diferentes estatisticamente nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10, porém na profundidade de 10-20 encontramos diferença estatística com um valor de 3,74 chegando a uma diferença percentual máxima próxima de 18,9% em comparação com a profundidade de 0-5 cm. Os resultados para a área de cana sob cultivo convencional (CC), comportaram-se similarmente aos da área de

CM, ou seja, diferindo apenas na profundidade de 10-20 cm, porém percentualmente chegaram numa diferença máxima de 26,5% também em relação a camada de 0-5 cm.

A comparação dos DMP entre áreas e em cada profundidade na Tabela 5 mostra que na camada de 0-5 cm as áreas de VN e CM não diferiram estatisticamente, porém a CC diferiu a 5% de probabilidade com o menor valor de 4,22. As áreas de CM e CC apresentaram similaridade e estatisticamente não foram diferentes. Na profundidade de 5-10 cm a área de CC apresentou diferença estatística com o menor valor de 3,80, representando um valor menor de 22,3%, enquanto que as demais áreas foram estatisticamente iguais diferindo em 4,5%. Ao passo que a profundidade aumentou, os valores de DMP variaram e em todas as áreas encontraram valores estatísticos diferentes, que em ordem crescente, obedeceu a ordem de CC < CM < VN, respectivamente, foram 3,10, 3,74 e 4,72. Percentualmente, entre área e cada profundidade a diferença máxima em 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram, respectivamente 13,7%, 22,3% e 34,32%. Provavelmente este comportamento se dá pelo fato da menor cobertura do solo, pelas localizações das áreas em chã e encosta (maior declividade) pelo manejo onde CC é convencional com mais operações de preparo e em CM é cultivo mínimo, prática mais conservacionista.

Tabela 5. Valores médios dos diâmetros médios ponderados (DMP), diâmetros médios geométricos (DMG) e índices de estabilidade de agregados (IEA) dos usos agrícola e manejo do solo com Vegetação Nativa (VN) e cana sob diferentes manejos

Profundidade (cm)	manejo do solo		
	VN	CM	CC
	DMP		
0-5	4,89 \pm 0,07 Aa	4,61 \pm 0,19 Aab	4,22 \pm 0,53 Ab
5-10	4,89 \pm 0,07 Aa	4,67 \pm 0,39 Aa	3,80 \pm 0,60 Ab
10-20	4,72 \pm 0,23 Aa	3,74 \pm 0,31 Bb	3,10 \pm 0,38 Bc
	DMG		
0-5	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa
5-10	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa
10-20	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa	0,98 \pm 0 Aa
	IEA %		
0-5	99,70 \pm 0,09 Aa	98,81 \pm 0,56 Ab	98,68 \pm 0,73 Ab
5-10	99,66 \pm 0,11 Aa	99,13 \pm 0,81 Aa	98,19 \pm 0,82 ABb
10-20	99,44 \pm 0,34 Aa	97,68 \pm 0,64 Bb	97,63 \pm 0,67 Bb

Letras maiúsculas diferentes nas colunas dentro do mesmo tratamentos e diferentes profundidades indicam diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes nas linhas diferem estatisticamente a 5% pelo teste Tukey. VN: Vegetação Nativa; CM: Cultivo Mínimo; CC: Cultivo Convencional.

Estudos realizados por Roque et al. (2010), em área de cana-de-açúcar, concluíram que a maior densidade do solo reflete em menor DMP, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa. Associando os resultados da Tabela 3 com os da Tabela 5, percebe-se que a DS na área de CC foi maior contribuindo para os menores valores encontrados de DMP. Garcia e Rosolem, (2010); Filizola e Barreto Luiz, (2018), estudando os agregados no solo e a influência do tempo prolongado do cultivo da cana, respectivamente, apresentaram valores de DMP onde o valor diminuiu ao passo que a densidade do solo aumentou. Além disso, Garcia e Rosolem (2010), apresentaram valores de agregados grandes (> 2 mm) representando um maior DMP para áreas com maiores porcentagens de agregados grandes. Para Castro Filho; Muzilli; Podanoschi (1998), quanto maior for a porcentagem de agregados grandes maior será o DMP. Na Tabela 7 deste estudo, são apresentados resultados médios das porcentagens dos agregados por classe, os resultados estão dentro do que é observado em algumas literaturas e confirmando os resultados de DMP apresentados na Tabela 5. Observa-se que, os agregados do solo > 2 mm para área de CM e CC são, em média, 83,29% e 67,12%, respectivamente. Além disso, Fontana et al. (2010), explicam que o menor DMP pode estar relacionado com práticas convencionais para a implantação da cana tais como queima da palha, aração e gradagem. De acordo com a Tabela 1, conseguimos identificar nas áreas de estudos da presente pesquisa tais práticas empregadas.

Ao confrontarmos os resultados de DMP das áreas de CM com CC observamos que todos os resultados foram diferentes estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey em todas as profundidades. Em 0-5 cm o CM foi maior em relação ao CC em aproximadamente 8,5%, já na profundidade de 5-10 cm esta diferença passou para 18,6% e na camada de 10-20 cm, 17,1%. Esses resultados podem ser justificados pelo relevo mais plano e pelo manejo com uma prática mais conservacionista (CM) em relação ao convencional (CC). Terassi; Silveira; Bonifácio (2014), encontrou valores mais elevados de DMP para Latossolos de textura média em relevo plano a suave ondulado e segundo Pereira; Thomaz; Fachin (2017), o DMP diminui quando há preparo convencional em comparação com plantio reduzido.

O segundo dado apresentado na Tabela 5 é referente ao diâmetro médio geométrico (DMG), de acordo com esta tabela não houve diferença estatística a 5% de probabilidade em profundidade e nem entre tratamento dentro de cada profundidade, obtendo o valor de 0,98 para todas as situações. De acordo com Castro Filho; Muzilli; Podanoschi (1998), o DMG é a maior presença estimada de um tamanho de classe de agregados. Nesta pesquisa, obtivemos os maiores valores para os macroagregados grandes (2-8 mm) em todas as áreas estudadas,

seguidos dos macroagregados pequenos (0,25 – 2 mm) e por fim os microagregados (< 0,25 mm). De acordo com a Tabela 7 conseguimos compreender que a classe de agregados com maior representação foi a de macroagregados em todas as áreas chegando a valores de aproximadamente 98%, o que pode explicar os resultados iguais de DMG. Os resultados apresentados Costa et al. (2008), corroboram com os resultados encontrados para este estudo. Estes autores apresentaram valores de DMG estatisticamente iguais, e neste caso a maior presença foram de agregados maiores que 2 mm.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) também é apresentado na Tabela 5. Todos os resultados apresentam uma estabilidade bastante elevada tanto em profundidade quanto entre a comparação das áreas. Nas três profundidades avaliadas para a VN os valores não diferem estatisticamente e variam no máximo 0,26%. Na área de CM esses valores mudam e apresentam diferença estatística na profundidade de 10-20 cm, porém esta diferença é de 1,45%. Em relação à área de CC, observam-se valores, que se comportaram similares aos das áreas de VN e CM, diferindo na profundidade de 10-20 cm. A diferença percentual na camada de 10-20 cm foi de 1,8%. Provavelmente, a diferença encontrada nos resultados de CM e CC provém da menor quantidade de M.O. e exposição do solo, deixando-o suscetível a problemas edafoclimáticos que causam menor estabilidade, como as gotas das chuvas que dispersam as partículas do solo.

Entre áreas e mesmas profundidades, a Tabela 5, revela que a CC apresentou os menores índices em todas profundidades, mostrando diferença significativa com uma probabilidade de 5% pelo teste de Tukey. Apesar de serem diferenças bastante pequenas, a variação ocorreu entre os valores de 1,02% na comparação de VN com CC e de 0,13% entre CM e CC na camada de 0-5 cm. Nesta mesma camada, observou-se que CM e CC não são diferentes. Para a camada de 5-10 cm, a CC em relação à VN diferiu em 1,47%, e de 0,94% para CC em relação à CM. Na profundidade de 10-20 cm, observamos que a estabilidade das áreas de CC e CM não diferiram, mostrando que são estatisticamente iguais, porém em comparação à VN, são diferentes. Esta diferença máxima está a casa dos 1,81%. A saturação de alumínio da área de VN é de 41,68% de acordo com a Tabela 4 e pode contribuir para maior agregação e estabilidade dos agregados do solo em relação às áreas de CM e CC, pois o alumínio a depender da forma encontrada no solo pode atuar como um agente agregante junto a matéria orgânica (PEDROTTI et al., 2003).

De acordo com Niewczas; Witkowska-Walczak (2003), o IEA refletirá a decomposição conjunto dos agregados sob o impacto de tensões destrutivas. Este índice pode variar mediante práticas agrícolas para a implementação das culturas, tais como gradagem, aração e outras, interferindo na agregação (HICKMANN et al., 2012). Para Hickmann et al. (2012), os

resultados apresentados mostraram que os diferentes manejos não apresentaram diferenças significativas em profundidade e em comparação entre os diferentes manejos, obtendo valores de IEA maiores que 90% para todas as áreas estudadas, o que corrobora para estes resultados. Vale salientar que as raízes da cana-de-açúcar contribuem para essa alta estabilidade, pois de acordo com Fontana et al. (2010) e Silva et al. (1998), elas aproximam as partículas unitárias de agregação do solo, mantendo ou aumentando a estabilidade dos agregados. Outro ponto muito importante é em relação à cobertura da palha da cana-de-açúcar permitir a proteção do solo com o fechamento da área pelas folhas, impedindo problemas de erosão, desprendimento de partículas do solo por ocasião da energia cinética das gotas de chuva e estruturação do solo. Segundo Sousa et al., 2012, quando houve o aumento da palha da cana sobre o solo reduziu a perda de solo. Santos et al. (2015), em estudo sobre a taxa de desagregação do solo, concluíram que a presença de cobertura vegetal atenua a desagregação e transporte de partículas de solo.

4.3 Distribuição (peso proporcional) de macroagregados do solo em áreas de vegetação nativa (VN) e cana sob diferentes manejos

A Tabela 6 em complementação com a Tabela 7 mostram que nas três profundidades os macroagregados grandes (2-8 mm) para VN não houve diferença estatística com pesos variando de 22,77 g a 23,81 g com distribuição variando de 92,97 a 97,42%, para os macroagregados pequenos (0,25-2 mm) variou de 2,25 a 6,45% com pesos de 0,55 g a 1,58 g variando estatisticamente na profundidade de 10-20 cm, os microagregados (0,053-0,25 mm) chegaram em um percentual variando entre 0,29 a 0,57% sem apresentar diferença estatística com peso de 0,07 g a 0,14 g. Para a área de CM, os macroagregados grandes (2-8 mm), a diferença estatística aconteceu apenas na profundidade de 10-20 cm com peso de 16,1 g, com uma representação de 67,9% da distribuição. Para macroagregados pequenos (0,25-2 mm) dessa mesma área (CM) essa distribuição variou de 2,08 g a 7,04 g chegando a percentuais de quase 30% de distribuição enquanto que para microagregados (0,053-0,25 mm) essa distribuição foi pouco mais de 2% sem diferença estatística dentro das três profundidades. No caso do CC, os macroagregados foram diferentes estatisticamente em relação a VN e CM em todas as profundidades. A distribuição do peso aconteceu em maior escala para os macroagregados grandes (12,7 a 19,8 g), depois os macroagregados pequenos (4,54 a 11,31 g) com diferença estatística em 5-10 e 10-20 cm e por fim os microagregados (0,33 a 0,58 g) que não foram diferentes estatisticamente.

Tabela 6. Valores médios de distribuição (Peso proporcional) de agregados (g) do solo nas diferentes profundidades da Vegetação Nativa (VN), cana sob cultivo mínimo (CM) e cana sob cultivo convencional (CC)

Profundidade (cm)	Manejo do solo		
	VN	CM	CC
Macroagregado grande (2-8 mm)			
0-5	23,63 \pm 0,56 Aa	21,84 \pm 1,47 ABa	19,78 \pm 3,23 Ba
5-10	23,81 \pm 0,48 Aa	22,19 \pm 2,76 Aa	17,10 \pm 3,75 Ba
10-20	22,77 \pm 1,43 Aa	16,10 \pm 1,81 Bb	12,68 \pm 2,36 Cb
Macroagregado pequeno (0,25-2 mm)			
0-5	0,57 \pm 0,37 Ba	2,08 \pm 1,03 ABb	4,54 \pm 3,15 Ab
5-10	0,55 \pm 0,38 Ba	1,76 \pm 2,08 Bb	7,09 \pm 3,56 Ab
10-20	1,58 \pm 1,35 Ca	7,04 \pm 1,79 Ba	11,31 \pm 2,27 Aa
Microagregado (0,053-0,25 mm)			
0-5	0,07 \pm 0,02 Aa	0,29 \pm 0,13 Aa	0,33 \pm 0,18 Aa
5-10	0,08 \pm 0,03 Aa	0,21 \pm 0,19 Aa	0,45 \pm 0,20 Aa
10-20	0,14 \pm 0,08 Aa	0,55 \pm 0,16 Aa	0,58 \pm 0,16 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas entre os tratamentos e as classes dentro de cada profundidade indicam diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas iguais dentro de um mesmo tratamento e classes nas colunas não diferem estatisticamente.

Observando a Tabela 6, notamos que a distribuição do peso proporcional dos macroagregados grades (2-8 mm) para VN (0-5, 5-10 e 10-20 cm) e CM (0-5 e 5-10 cm) não houve diferença estatística a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, porém a partir de 10-20 cm da área de CM e as três profundidades da área de CC apresentam diferença. De acordo com a Tabela 7, observamos que esses agregados grandes (2-8 mm) refletiram em valores altos na estabilidade de agregados em aproximadamente 96% para VN, 83% para CM e 67,% para CC, e estes resultados podem ser justificados por ocasião do diferente manejo empregado nas áreas onde a menor distribuição (CC) acontece possivelmente pelo preparo convencional do solo que não permite uma maior agregação, porém quando se considera a soma dos macroagregados (grandes e pequenos) observa-se em todas as áreas mais de 98% de distribuição. O que infere numa elevada qualidade estrutural nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. Isso pode ser explicado pela maior cobertura do solo com o fechamento da parte aérea da cana-de-açúcar na área, segundo o Catálogo Nacional de Variedades “RB” de Cana-de-Açúcar, 2010, a variedade utilizada possui um bom fechamento entre linhas o que protege o solo de chuvas intensa, preservando a estrutura do solo. O comportamento dos macroagregados pequenos (0,25 -2 mm) mostram que a área de CC é a única que difere estatisticamente, e a Tabela 7 apresenta a representatividade dessa classe em cerca de 31%, ou seja, quase um terço do total, enquanto que na área de CM é de 15% e 3,69% para VN. Em relação aos microagregados (0,053-0,25 mm), observamos em ambas profundidades e entre tratamentos

não diferenciaram estatisticamente, variando entre valores de 0,40% e 1,84% de distribuição. Em ordem decrescente, apresentaram-se na seguinte proporção: Macroagregados grades > Macroagregados pequenos > Microagregados. Valores percentuais para CM de macroagregados grades variaram de aproximadamente 68 – 92%, macroagregados pequenos 8,6 – 29,7% e microagregados 0,89 – 2,32%. Para CC, de modo semelhante, os valores variaram para macroagregados grades 51 – 80%, macroagregados pequenos 18 - 46% e microagregados 1,3 – 2,3%.

Resultados obtidos por De Oliveira Ferreira et al. (2018), apresentam-se semelhantes aos deste estudo, pois a representação das classes de agregados do solo foi maior em profundidade mais superficiais e decaía quando a profundidade aumentava.

Tabela 7. Valores proporcionais, em porcentagem, representativos das classes de agregados do solo

Profundidade (cm)	Manejo do solo		
	VN	CM	CC
	Macroagregados Grandes (2 – 8 mm) %		
0-5	97,36	90,21	80,34
5-10	97,42	91,84	69,39
10-20	92,97	67,96	51,61
Média	95,91	83,33	67,10
	Macroagregados Pequenos (0,25 – 2 mm) %		
0-5	2,34	8,59	18,44
5-10	2,25	7,28	28,77
10-20	6,45	29,72	46,00
Média	3,69	15,20	31,07
	Microagregados (0,053 – 0,25 mm) %		
0-5	0,29	1,20	1,34
5-10	0,33	0,89	1,82
10-20	0,57	2,32	2,36
Média	0,40	1,47	1,84

O conjunto de macroagregados do solo (grandes e pequenos) mostram resultados que podem nortear pesquisas sobre o uso de práticas conservacionistas do solo, como o uso do cultivo mínimo. Ao confrontarmos os resultados das áreas de CC *versus* CM, observa-se que a área de CM apresenta um valor pouco superior a CC, mas não significativo de apenas 0,12% isso na profundidade de 0-5 cm. Nas demais profundidades (5-10, 10-20 cm), o comportamento é o mesmo. Isto pode ser justificado pelo fato da cana apresentar biomassa de parte aérea e sistema radicular fasciculado que preservam essa estrutura de solo, e de acordo com pesquisas

realizadas por Cury; Clerici de Maria; Bolonhezi (2014), a cana chega a valores médios de 4 t ha⁻¹ de raízes explorando o solo em uma profundidade de 1 m. Para Tisdall e Oades (1982), a estabilidade dos macroagregados em água tem relação direta com raízes e hifas de fungo.

Quando observamos, os valores separadamente, na profundidade de 0-5 cm, para macroagregados grandes (2-8 mm), temos que cerca de 90% desta classe em área de CM, enquanto que em CC esse valor decresce para cerca de 80%. Na profundidade de 5-10, a área de CM apresenta quase 92% enquanto que para CC este valor cai significativamente para aproximadamente 70%. E para a última profundidade (10-20 cm) observamos que há um decréscimo de, aproximadamente, 17%.

Os macroagregados pequenos (0,25-2 mm) apesar de não serem tão representativos dentro da amostragem feita, ajudam a entender melhor a estruturação e qualidade do solo, pois eles permitem enxergar se o manejo com os maquinários agrícolas e da própria cultura estão sendo feito de forma que causam maior ou menor dano, haja vista que um solo que apresenta maiores classes de agregados apresentam melhores condições físicas. Comparando CM *versus* CC, nesta classe, observamos que o valor médio da diferença de sua presença nas áreas em estudos é de, aproximadamente, 16%.

Os microagregados, contribui nesta pesquisa para mostrar que a qualidade do solo, não é tão precária, haja vista a pequena quantidade encontrada nas áreas em estudos. Seus valores representativos variam de 0,40 a 1,83%. Quando as áreas de cana sob os diferentes manejos são comparadas, observamos que a diferença entre elas é mínima chegando a um valor de 0,37%.

Wang; Zhang; Zhang (2015), avaliando os efeitos do cultivo intensivo na distribuição da estabilidade de agregados apresentaram resultados que corroboram para alguns resultados da atual pesquisa. Estes autores observaram que com o cultivo intensivo de 20 anos consecutivo diminuiu a estabilidade de agregados. Para Oliveira et al., 2010, o cultivo prolongado da cana-de-açúcar diminui a estabilidade dos agregados do solo. Os resultados desta pesquisa estão de acordo, pois o cultivo de cana-de-açúcar por mais de 60 anos diminui a estabilidade dos agregados, principalmente, na profundidade de 5-10 e 10-20 cm.

4.4 Carbono orgânico total das áreas de vegetação nativa e cana sob diferentes manejos

Tendo como referência o COT da VN a área de CC não diferiu estatisticamente, porém para a área de CM encontramos diferença estatística de aproximadamente 35% na camada de 0-5 cm (Tabela 8). Nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm as áreas se comportaram estatisticamente iguais, variando em torno de 0,12 a 5,6 g kg⁻¹.

O estoque total de carbono por área comportou-se estatisticamente iguais aos valores encontrados em COT. Apenas quando observamos na profundidade 0-20 cm observamos que VN obteve o maior estoque de carbono seguido de CC e CM. Apesar de serem estatisticamente iguais, a diferença de cada área em comparação a VN, em Mg ha^{-1} , chega próxima de 4,8 para CM e 0,53 para CC. Isso representa cerca de 6,2% para CM e 0,69% para CC. Fica nítido que a área CC conseguiu chegar próximo de valores teve um incremento a mais em relação CM de 6,2%. Resultados encontrados por Viana et al., 2011, corroboram para os resultados encontrados nessa pesquisa, tais autores observaram que a cana-de-açúcar apresentou estoque de carbono e teor de carbono orgânico menores que a vegetação nativa, e explicam que isso pode ser pelo fato do tipo de preparo do solo.

Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono total nas áreas de Vegetação Nativa (VN) e cana sob diferentes manejos

Profundidade (cm)	Manejo do Solo		
	VN	CM	CC
	----- COT (g kg^{-1}) -----		
0-5	41,57a	27,20b	38,00a
5-10	32,47a	32,59a	38,1a
10-20	26,37a	29,37a	25,41a
	Estoque (Mg ha^{-1})		
0-5	24,66 a	16,21 b	19,23 ab
5-10	19,71 a	19,81 a	21,09 a
10-20	32,65 a	36,18 a	36,18 a
0-20	77,03 a	72,22 a	76,50 a

Letras minúsculas diferentes na mesma linha em cada variável indicam diferença estatística entre os manejos do solo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. VN: Vegetação Nativa; CM: Cultivo Mínimo; CC: Cultivo Convencional.

Segundo Freitas et al., (2018), o COT e estoque de carbono na área de mata é superior ao da cana-de-açúcar, pois há o maior acúmulo de material orgânico e não perturbação do sistema. Estes mesmos autores, explicam que a substituição da vegetação nativa por culturas agrícolas contribui para o declínio do estoque de C. A palha remanescente sobre o solo bem como e o sistema radicular da cana nas áreas de cana sob os diferentes manejos podem contribuir para o valor acentuado dos teores de carbono do solo, pois protege o solo evitando uma maior oxidação, aumentando os teores de carbono (ROSSET et al., 2014).

Menores valores de estoque de carbono são observados principalmente na profundidade de 5-10, isso pode ser explicado pelo fato da maior densidade em profundidade, resultados encontrados por Souza; Marcelo; Centurion (2012), corroboram para este estudo, onde as

maiores densidades apresentaram menores estoques de C. Vale salientar que o sistema radicular das gramíneas pode elevar o estoque de carbono da área (CAMPOS et al., 2016). Além disso, a queima da palha da cana, para facilitar a colheita prática utilizada nas áreas amostradas, também contribuiu na diminuição do incremento de carbono, ou seja, justifica os menores teores de COT e estoque (SIGNOR et al., 2014).

4.5 Estoque de carbono nas classes de agregados das áreas de vegetação nativa e cana sob diferentes manejos

A representação de cada classe de agregado em relação ao conteúdo de carbono por classe de agregado para VN é aproximadamente 96,5% para macroagregado grande, 3% para macroagregado pequeno e pouco mais de 0,5% para microagregados (Tabela 9). Na área de CM esses valores são diferentes, apresentando aproximadamente 80% para macroagregados grandes, 14% para macroagregados pequenos e 1,2% para microagregados. Para CC estes valores são 69,08% para macroagregados grandes, 30,3% para macroagregados pequenos e 1,8% para microagregados.

Ao compararmos os valores dos macroagregados pequenos (0,25-2 mm), observamos que o comportamento dos resultados em profundidades separadas foi semelhante ao dos macroagregados grande, de forma que quando observamos a camada de solo completa (0-20 cm), observamos que a área de CC apresenta um maior valor de macroagregados pequenos, que pode ser justificado pelo efeito do preparo do solo com gradagens e aração destruindo os maiores agregados (2-8 mm), influenciando numa menor estruturação e qualidade do solo da área. A diferença da representação dessa classe na área de CC em comparação a VN é de aproximadamente 90% e em relação a CM é de 56,4%. Observa-se que a área de VN possui o menor valor de agregados pequenos, e que pode ser justificado pela preservação da área, além disso, a área de CM apresenta certa diferença em relação ao CC, que também pode ser justificado pelo preparo do solo.

Apesar do estoque de C nos macroagregados grandes (2-8 mm) não ter tido diferença estatística significativa quando se compara CM com CC em todas as camadas amostradas (Tabela 9). Entretanto, observa-se um incremento de 4,9 Mg ha⁻¹ a favor do CM em relação ao CC na camada de 0 - 20 cm. Isso evidencia o efeito do cultivo mínimo como prática de manejo conservacionista interferindo positivamente na proteção da estrutura do solo (Tabela 7) e incremento no estoque de C (Tabela 9).

Em relação ao estoque de C nos macroagregados pequenos (0,25-2 mm), apesar de não apresentar diferença estatística significativa quando se compara CM com CC na camada de 0-

20 cm, observa-se uma maior distribuição (31,07%) e maior estoque de C (23,16 Mg ha⁻¹) no tratamento CC em relação ao CM (15,2%; 10,10 Mg ha⁻¹ de C) (Tabela 07). Essa maior distribuição de macroagregados pequenos no CC é explicada pelas maiores operações de revolvimento dessa área.

Tabela 9. Valores médios dos estoques de carbono das diferentes classes de agregados nas áreas de Vegetação Nativa e cana sob diferentes manejos

Profundidade (cm)	Manejo do Solo		
	VN	CM	CC
	----- Estoque (Mg ha ⁻¹) -----		
	Macroagregado grande (2-8 mm)		
0-5	24,23 a	15,19 a	16,65 a
5-10	19,25 a	17,41 a	16,45 a
10-20	30,93 a	25,18 a	19,75 a
0-20	74,40 a	57,78 b	52,85 b
	Macroagregado pequeno (0,25-2 mm)		
0-5	0,33 a	0,87 a	2,35 a
5-10	0,49 a	0,71 a	4,30 a
10-20	1,52 a	8,52 a	16,51 a
0-20	2,34 b	10,10 ab	23,16 a
	Microagregado (0,053-0,25 mm)		
0-5	0,10 a	0,14 a	0,24 a
5-10	0,14 a	0,14 a	0,34 a
10-20	0,21 a	0,56 a	0,83 a
0-20	0,43 a	0,85 a	1,40 a

Letras minúsculas diferentes na mesma linha em cada variável indicam diferença estatística entre os manejos do solo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. VN: Vegetação Nativa; CM: cultivo mínimo; CC: cultivo convencional.

A classe de microagregados (0,053-0,25 mm) não apresentou diferença estatística em nenhuma profundidade, e isso pode contribuir com os resultados elevados para macroagregados grandes e pequenos nas áreas em estudo.

Os menores resultados encontrados de estoque de carbono por classe de agregados pode ser explicado pelo fato do teor de carbono por área como também por ocasião do preparo do solo. Observando os resultados da Tabela 9 e comparando com a Tabela 8, percebemos que o estoque de carbono na classe de agregados é maior quando o teor de COT também é maior. Rozane et al. (2010), estudando estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo, afirma que a diminuição do estoque de carbono tem relação com as práticas agrícolas para implantação da cultura que quebra toda a estrutura do solo o que corrobora com os resultados desse estudo. Tivet et al. (2013), afirmam que os macroagregados quando quebrados

expõe o C que estava protegido no interior da estrutura que será oxidado refletindo num menor estoque de C, como nas áreas de cana sob os diferentes manejos. Como ponto que contribui para maior agregação do solo e conseqüentemente maior estoque de carbono temos o efeito do sistema radicular operando nas áreas. Vezzani e Mielniczuk (2011), observaram que plantas com sistemas radiculares densos tendem a recuperar a macroagregação do solo.

4.6 Taxa de perda de C dos macroagregados grandes (2-8 mm) nas áreas de cana sob diferentes manejos em comparação a vegetação nativa

Baseado na Tabela 9, obtemos as taxas de perda de C das áreas CM e CC em relação a VN. A partir disso e considerando os macroagregados grandes notamos que a taxa de perda de C para a camada superficial (0-5 cm) foi de 37,3% e 31,3% para CM e CC, respectivamente. Na camada de 5-10 cm essa taxa foi de 9,56% e 14,5% para CM e CC, respectivamente. E na camada de 10-20 cm essa taxa foi de 18,6% e 36,1% para CM e CC, respectivamente. E finalmente considerando a camada arável (0-20 cm) a taxa de perda de C foi de 22,3% e 28,9% para CM e CC, respectivamente (Figura 11). O efeito da área de CC em ter perdido mais que CM pode ser explicado por ocasião da maior quebra de macroagregados grandes por ocasião do preparo mais convencional da área, levando a uma maior porcentagem de macroagregados pequenos oxidando o carbono que estava protegido na classe (2-8 mm).

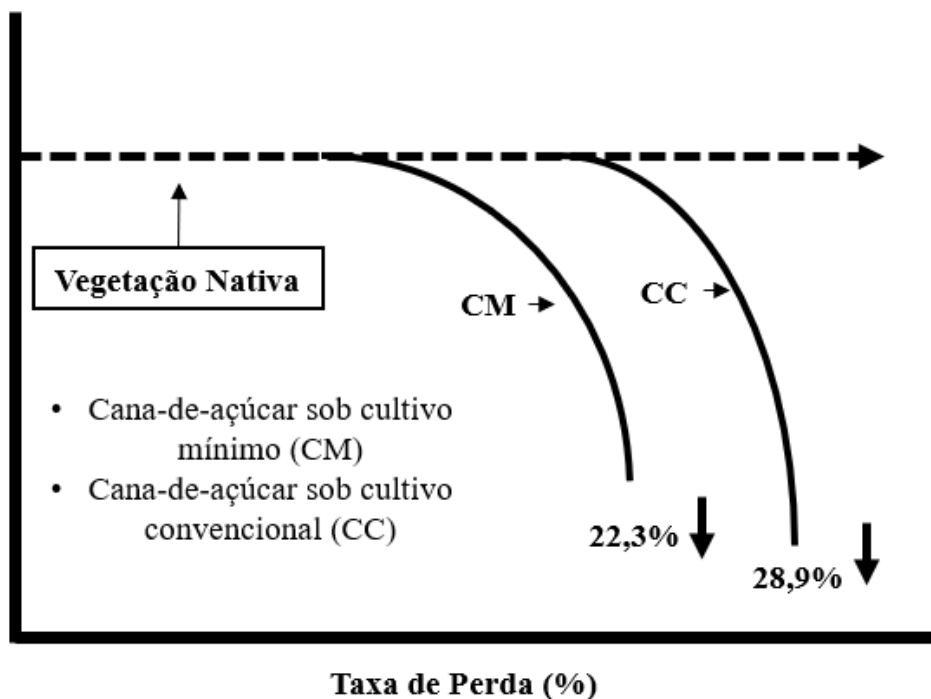


Figura 10. Representação esquemática da taxa de perda de C em macroagregados grandes (2-8 mm) na camada arável (0-20 cm) em área de do monocultivo de cana-de-açúcar sob cultivo mínimo (CM) e convencional (CC)

4.7 Produtividades anual e acumulada das áreas de cana-de-açúcar sob os diferentes manejos

Na Figura 11, estão apresentados valores de produtividade anual e acumulada (11 anos), em tonelada por hectare (TCH) das áreas de cana-de-açúcar sob cultivo mínimo (CM) e cultivo convencional (CC). A produtividade acumulada da CM foi 761,6 TCH, enquanto que para CC, 654,4 TCH, com uma diferença de 107,2 TCH durante o tempo. A produtividade média, para a área de CM foi de 69,24 TCH e para área de CC foi de 59,49 TCH com uma diferença de, aproximadamente, 10 TCH. Na área de CM, produtividade anual, variou de 50,4 TCH a 100,6 TCH e para CC esta variação está entre 39,1 TCH e 77,7 TCH.

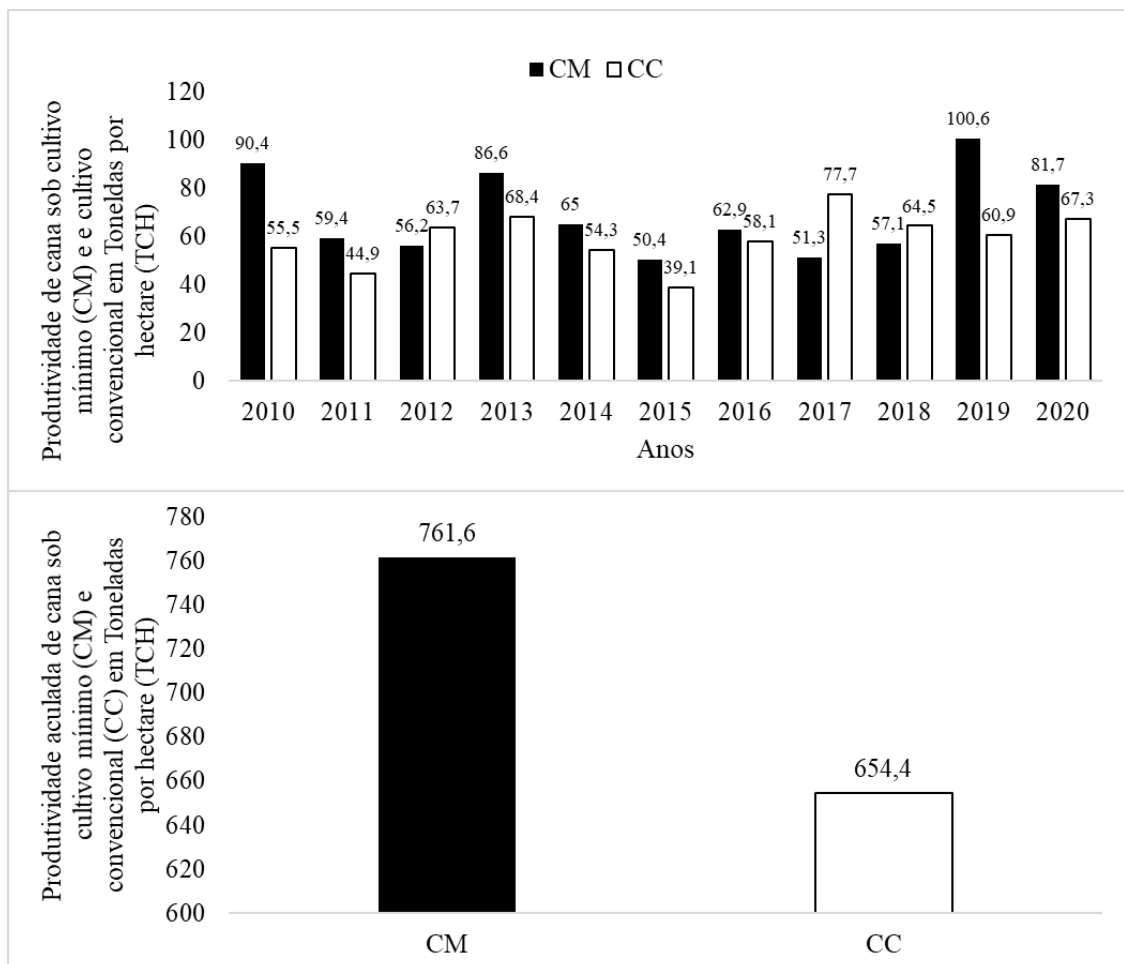


Figura 11. Produtividade anual e acumulada da cana sob cultivos mínimo (CM) e convencional (CC)

A maior produtividade acumulada (11 anos) para a área de CM em comparação ao CC pode ser explicada pelos seguintes pontos: 1) melhor estruturação do solo (acessada pelos macroagregados), pois a área de CM apresentou maior distribuição (Peso proporcional) e estoque de C em relação ao CC, além de menor taxa de perda de C ao longo dos anos. 2) a

densidade do solo foi maior para a área de CC (1,47 g cm⁻³) e menor para a área de CM (1,36 g cm⁻³). 3) atributos químicos (CTC e fósforo), relevo mais plano e potencial produtivo das cultivares.

Carvalho et al. (2014) avaliando a produtividade da cana-de-açúcar em relação a variáveis físicas do solo e o manejo empregado para o sistema de preparo, encontraram maiores produtividade quando a DS foi menor em comparação com outros sistemas. A CTC do solo e fósforo (P) da área de CM é mais elevada e diferente em comparação aos outros parâmetros químicos da área de CC, isso pode contribuir para a maior produtividade da CM, de acordo com a Tabela 3 e que para Marques Júnior et al., 2008, atributos químicos do solo refletem na oscilação da produtividade.

5 CONCLUSÕES

O monocultivo de cana-de-açúcar sob cultivos convencional e mínimo aumentou as densidades de solo quando comparado com a vegetação nativa em 20,7 e 13,2%, respectivamente.

Os macroagregados grandes apresentaram distribuição (Peso proporcional) médio de 95,91% para VN, 83,33% para CM e 67,12% para CC. Enquanto, que os macroagregados pequenos apresentaram distribuição de 31,07% para CC, 15,2% para CM e 3,69% para VN.

A cana-de-açúcar por apresentar um sistema radicular robusto contribuiu para uma alta agregação quando observado a macroagregação do solo (2-8 e 0,25-2 mm) bem como a preservação da estrutura.

O estoque de carbono médio nos macroagregados grandes obedeceu a seguinte ordem decrescente VN > CM > CC, respectivamente, 74,4 Mg ha⁻¹; 57,78 Mg ha⁻¹ e 52,85 Mg ha⁻¹ para a camada de 0-20 cm. Já os macroagregados pequenos obedeceram a seguinte ordem decrescente CC > CM > VN, respectivamente, 23,16 Mg ha⁻¹; 10,10 Mg ha⁻¹ e 2,34 Mg ha⁻¹ para a mesma camada.

A taxa de perda de C na camada arável (0-20 cm) mostrou que as áreas de CM e CC diminuíram a qualidade estrutural do solo em 22,3 e 28,9%, respectivamente. Enfim, a qualidade estrutural (acessada pelos macroagregados) do solo obedeceu a seguinte ordem decrescente: VN > CM > CC.

A classe de macroagregados grandes (2-8 mm) e pequenos (0,25 – 2 mm) foram extremamente sensíveis para diferenciar os sistemas de manejos de CM e CC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.720–726, 2014.

AGUIAR, C. J.; SOUZA, P. M. A expansão da cana-de-açúcar e a produção dos demais gêneros na última década: uma análise dos principais estados produtores. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45, p. 88-100, 2014.

ALMEIDA, B. G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. 2008. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Agronomia, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

ALMEIDA, A. T.; SIMÕES, K. S.; ALMEIDA, J. R. C.; PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Qualidade Biológica do Solo em sistema de policultivo no Semiárido da Bahia. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 15, p. 75-81, 2017.

ALMEIDA, L. S.; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, p.1539-1547, 2016.

ANCORA. **A Zona da Mata de Pernambuco**. Disponível em: <http://www.ancora.org.br/textos/011_jansen-mafra.html>. Acesso em 10 de setembro de 2019.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** (Impresso), Guarapuava, v. 5, p. 187-206, 2012.

ARAUJO, T. S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 42, p. 347-357, 2019.

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M. S.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B. CUNHA, T. J. F. GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade Física de Solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p.1473-1482, 2015.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; SUAREZ, A. H. T.; COLMAN, B. A.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 6, n. 1, p. 41-47, 2019.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; ORLANDO, R. C.; SILVA, M. M.; NASCIMENTO, J. M. Crescimento inicial de cultivares de cana-de-açúcar em plantio de inverno sob preparos conservacionistas do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 27, p.142-156, 2019.

- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.309–316, 2015.
- AWE, G. O.; REICHERTB, J. M.; FONTANELA, E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 196, p. 104447, 2020.
- BALERINI, F.; BISSANI, C. A.; MARTINS, A. P.; ARNUTI, F. BOETTCHER, G. N.; SCHWARZ, S. F. Elementos-traço o perfil do solo de pomar cítrico após adubação orgânica de longo prazo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, Frederico Westphalen, v. 2, p. 01-10, 2018.
- BARBOSA, L. C.; MAGALHÃES, P. S. G.; BORDONAL, R. O.; CHERUBIN, M. R.; CASTIONI, G. A. F.; TENELLI, S.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality associated with tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 195, p. 104383, 2019.
- BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; FARIAS, C. H. A.; PEREIRA, W. E. Estoque de Carbono e Nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, p. 35-42, 2013.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.21-31, 2005.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.1, p. 155-163, 2004.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, São Paulo, v.58, p.555-560, 2001.
- BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo e da Água: práticas conservacionistas do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. 1355 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo: práticas conservacionistas e sistemas de manejo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017. 392 p.
- BONINI, C. S. B.; ALVEZ, M. C.; MONTNARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.388–393, 2015.
- BORELLA, D. R.; SIQUEIRA, F. R. P. S.; FARIA, T. O.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G. Efeito da Conversão da Vegetação Nativa em áreas Agrícolas sobre variáveis biofísicas na região de transição Cerrado-Amazônia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 40, p. 12, 2018.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Os solos ao nosso redor. In: BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Cap. 1. p. 1-29.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDERA, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L.. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, Nottingham, v. 120, p. 105-125, 2018.

CACHO, J. F.; YOUSSEF, M. A.; SHI, W.; CHESCHEIR, G. M.; SKAGGS, R. W.; TIAN, S.; LEGGETT, Z. H.; SUCRE, E. B.; NETTLES, J. E.; ARELLANO, C. Impacts on soil nitrogen availability of converting managed pine plantation into switchgrass monoculture for bioenergy. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v. 654, p. 1326-1336, 2019.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, p. 339 – 349, 2016.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa, v. 35, p. 613-622, 2011.

CARNEIRO, L. F.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H.; DAROS, E.; BERTON, G. S.; RODRIGUES, F. V. Alternative sugarcane production for conservation of sandy soils: sugarcane straw, intercropping and nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, p. 009920, 2020.

CARVALHO, L. A.; REZENDE, I. S.; PANACHUKI, E.; SILVA JUNIOR, C. A.; NOVAK, E. SILVA, G. F. C. Variáveis físicas do solo e produtividade de cana-de-açúcar sob sistemas de preparo na reforma de canavial. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.1, p. 259 -274, 2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CAVALCANTE, D. M.; SILVA, A. P. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, T. H. S.; CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 209, p. 104.951, 2021.

Catálogo Nacional de Variedades “RB” de Cana-de-Açúcar. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. – Curitiba, 2010. 136 p. il. Disponível em <https://936ff074-bc31-4c95-865ae84779eed5aa.filesusr.com/ugd/097ffc_e328a69f7b78434088b21262cab3c75f.pdf>. Acesso: 17 de agosto de 2021.

CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1467-1473, 1999.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J.. Qualidade Física, Química e Biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), Viçosa, v. 39, p. 615-625, 2015.

CIPRIANI, L. P. ; AVILA, J. C. ; SOUZA, R. C. ; RODRIGUES, E. M. S. ; SOARES, E. R. ; NOGUEIRA, A. E. . Qualidade da estrutura do solo em sistema integrado de produção agropecuária no município de Ariquemes, Rondônia. **Revista Agroecossistemas**, Marabá, v. 10, p. 287-297, 2018.

CLERICI DE MARIA, I.; DRUGOWICH, M. I.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCATCHENCO, J.; MARGATHO, S. M. F. **Recomendações Gerais Para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-Açúcar**. Campinas, Secretaria de Agricultura e Abastecimento Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, 2016. 100p. (Boletim Técnico IAC, 216).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar 2019/20**. Terceiro Levantamento. Brasília: CONAB, dezembro/2019.

COSTA, A. M.; RIBEIRO, B. T.; SILVA, A. A.; BORGES, E. N. Estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho tratado com cama de peru. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 73-79, 2008.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; BARBOSA, P. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1311 – 1321, 2012.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 852-863, 2015.

CUNHA, F. F.; LEAL, A. J. F.; ROQUE, D. C. G. Planejamento de sistemas de terraceamento utilizando o software Terraço 3.0. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia, v. 2, p. 182-196, 2011.

CURY, T. N.; CLERICI DE MARIA, I; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1929-1938, 2014.

DA SILVA, F. D.; AMADO, T. J.C.; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 60-69, 2014.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T.M.; GONCALVES, D.R.P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 621, p. 1559-1567, 2018.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, p. 7 – 18, 2011.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.576–583, 2008.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 505-517, 2004.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadá, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

ELLI, E. F.; CARON, B. O.; PAULA, G. M.; ELOY, E.; SCHWERZ, F.; SCHMIDT, D. Ecofisiologia da cana-de-açúcar no sub-bosque de canafístula em arranjos de sistema agroflorestal. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 4, p. 464 - 472, 2016.

EPELDE, L.; BURGESS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 75, p. 1-12, 2014.

FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JÚNIOR, N.; SOUSA, A. C. M.; SANTOS, A. P. G.; CARVALHO, J. L. N. Soil tillage and cover crop on soil CO₂ emissions from sugarcane fields. **Soil Use and Management**, Pequim, v. 35, p. 273-282, 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras: UFLA; 2010.

FILIZOLA, H. F.; BARRETO LUIZ, A. J. Tempo de cultivo contínuo de cana-de-açúcar e influência nas características físicas e carbono orgânico de Latossolos vermelhos distróficos em Guaíra/SP. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 20, p. 21 - 36, 2018.

FONTANA, A; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, p.291-297, 2010.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Online), Fortaleza, v. 43, p. 417-428, 2012.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de Carbono de Latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal** (ONLINE), Santa Maria, v. 28, p. 228-230, 2018.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A. ; SILVA, L. S. ; FRARE, J.C ; FILLA, V. A. ; GOMES, R.P. . Indicadores da Qualidade Química e Física do Solo sob diferentes Sistemas de Manejo. **UNIMAR Ciências**, Marília, v. 26, p. 1-18, 2017.

- GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T. ; TOMASINI, B. A. ; BERGAMIN, A. C. ; PANACHUKI, E. . Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa, v. 35, p. 2145-2155, 2011.
- GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.1489-1498, 2010.
- GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: Dane, J. H. Methods of soil analysis. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Cap. 4: Physical methods, p. 255 – 293.
- GNANAVELRAJAH, N.; SHRESTHA, R. P.; SCHMIDT-VOGT, D.; SAMARAKOON, L.. Carbon stock assessment and soil carbon management in agricultural land-uses in Thailand. **Land Degradation and Development**, Ghent, v. 19, p. 242–256, 2008.
- GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHER, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, p. 994 - 1000, 2014.
- GUEDES, R., V. S.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, F. D. S.; SILVA, V. P. R. Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos ocorridos em Pernambuco. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.38, p. 413-428, 2016.
- HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; CARLOS ERNESTO; G. R. S.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, p. 128-136, 2012.
- HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAUJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São José dos Pinhais, v. 1, p. 168-178, 2018.
- INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; BRIEDIS, C.; TIVET, F.; ROMANIW, J. Macroagregados como indicadores de qualidade em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 151, p. 4-10, 2016.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 118 – 127, 2008.
- JESUS, G. L.; SILVA, I. R.; ALMEIDA, L. F. J.; SANTOS, M. A.; LEITE, F. P.; NEVES, J. C. L. Produtividade Do Eucalipto, Atributos Físicos Do Solo E Frações Da Matéria Orgânica Influenciadas Pela Intensidade De Tráfego E Resíduos De Colheita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1190-1203, 2015.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 4 – 10, 1997.
- KOUSELOU, M.; HASHEMI, S.; ESKANDARI, I.; MCKENZIE, B. M.; KARIMI, E.; REZAEI, A.; RAHMATI, M. Quantifying soil displacement and tillage erosion rate by different tillage systems in dryland northwestern Iran. **Soil Use and Management**, v. 34, p. 48-59, 2018.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R.; SÉRGIO SILVA, S. D. A.; CLENIO NAILTO PILLON, C. N. Tensile strength, friability, aggregation, and soil organic matter physical fractions of an Oxisol cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, p.487-494, 2018.

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, p. 303-322, 2007.

LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista de Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 39, p. 193 - 202, 2008.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia: degradação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LI, H.; WANG, J.; LIU, Q.; ZHOU, Z.; CHEN, F.; XIANG, D.. Effects of consecutive monoculture of sweet potato on soil bacterial community as determined by pyrosequencing. **Journal of Basic Microbiology**, Jena, v. 59, p. 1-11, 2018.

LI, Y; LI, Z; CHANG, S. X.; CUI, S.; JAGADAMMA, S.; ZHANG, Q.; CAI, Y. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 740, p. 140147, 2020.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, p. 205-220, 2006.

LISBOA, B. B. ; VARGAS, L. K. ; SILVEIRA, A. O. ; MARTINS, A. F. ; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa, v. 36, p. 33-44, 2012.

LISBÔA, F. M.; MIRANDA, P. B. Análise de atributos físicos e químicos de solo submetido a diferentes manejos no sudeste paraense. **Agroecossistemas**, Pará, v. 6, p. 1-9, 2014.

LOSS, A., BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono Orgânico Total e Agregação do Solo em Sistema de Plantio Direto Agroecológico e Convencional de Cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.1212-1224, 2015.

LOSS, A. L.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. P.; BEUTLER, S. J.. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 113, p.1-8, 2014.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L.. Fertilidade e compartimentos da Matéria Orgânica do Solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p. 289-299, 2014.

MACIEL, T. C. M.; SANTOS, F. G. B.; ALCANTARA, F. D. O.; VÁSQUEZ, M. A. N. Atributos físicos e químicos de solos em diferentes sistemas de uso: um estudo de caso no cariri cearense. **Revista Acta Kariri Pesquisa e Desenvolvimento**, Crato, v.3, p.22-36, 2018.

MADARI, B. E. **Fracionamento de agregados - Procedimento para uma Estimativa Compartimentada do Sequestro de Carbono no Solo**. EMBRAPA. p. 1-10, dez. 2004. (Comunicado Técnico, 22).

MAGALHÃES, G. M. F. **Avaliação da retenção de água em terraços na bacia hidrográfica do rio São Francisco, em Minas Gerais**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2012.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELNO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 17, p. 163 - 181, 2015.

MAPBIOMAS. **Mata atlântica - evolução anual do uso e cobertura da terra**. 2019. Coleção 5.0. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/Colecao5/MBI-Infografico-mataatlantica-5.0-BR.jpg>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, p. 1769 - 1783, 2016.

MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p.574-580, 2015.

MARIN, Fabrício Ricardo. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros em simulações multimodelos**. 2014. 262 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agrometeorologia, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

MARQUES JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v. 8, p. 143-152, 2008.

MARTÍNEZ, E.; FUENTES, J. P.; PINO, V.; SILVA, P.; ACEVEDO, E. Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v.126, p.238- 245, 2013.

MARTINS, M. B.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P.; TESTA, J. V. P.; SARTORI, M. M. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; LANÇAS, K. P. Fuel Consumption Between Two Soil Tillage Systems for Planting Sugarcane. **Sugar Tech**, v. 23, p. 219-224, 2020.

MEDEIROS, A. S.; SILVA, T. S.; SILVA, A. V. L.; BARROS, D. R. S.; MAIA, S. M. F. Organic carbon, nitrogen and the stability of soil aggregates in areas converted from sugar cane to eucalyptus in the state of Alagoas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, p. e420404, 2018.

MELLO, J. M.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; CHIG, L.A.; JOHNSON, M. S.; LOBO, F. A.. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal do estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do pantanal norte mato-grossense. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, p.325-336, 2015.

MENGISTU, D.; BEWKET, W.; LAL, R.. Conservation effects on soil quality and climate change adaptability of Ethiopian watersheds. **Land Degradation and Development**, Ghent, v. 27, p. 1603-1621, 2015.

MIRANDA M. T.; COGO, F. D.; VILELA, E. F. Compactação do Solo e Dimensionamento de Terraços em uma Propriedade Rural do Sul de Minas Gerais. **Intercursos**, Ituiutaba, v. 16, p.25 – 37, 2017.

MONTEIRO, A. C. G.; PONCIANO, N. J. Índice da qualidade do solo com cana-de-açúcar colhida crua e queimada. **Revista Científica Internacional InterSciencePlace**, Chile, v. 1, p. 58 – 70, 2012.

MORAIS, E. R. C.; E. MAIA, C. E.; GAUDÊNCIO, H, R. S. C.; SOUSA, D. M. M. Indicadores da qualidade química do solo em áreas cultivadas com mamoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.587–591, 2015.

NAKAO, A. H.; CARVALHO, M. P. E.; SOUZA, F. H.; CRUZ, S. S.; MONTANARI, R. Rotação e sucessão de culturas como práticas de conservação do solo no município de Jales, SP. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, p. 153-166, 2015.

NIWCZAS, J.; WITKOWSKA-WALCZAK, B. Index of soil aggregates stability as linear function value of transition matrix elements. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v.70, p.121–130, 2003.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. **Aggregate stability and size distribution**. In: DANE J. H.; TOPP, G.C. Methods of Soil Analysis. Part: 4 Physical Methods. **Soil Science Society of American Book Series**, Madison, n.5, p. 317-328, 2002.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, p. 71-93, 2015.

OLIVEIRA, I. N.; SOUZA, Z. M.; LOVERA, L. H.; FARHATE, C. V. V.; LIMA, E. S.; DIEGO ESTEBAN, A. A.; FRACAROLLI, J. A. Least limiting water range as influenced by tillage and cover crop. **Agricultural Water Management**, Nova Zelândia, v. 225, p. 105777, 2019.

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 2, p. 66-80, 2016.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q. AGNA ALMEIDA MENEZES, A. A.; COSTA, O. V.. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2821-2829, 2008.

OLIVEIRA NETO, A. M.; MACIEL, C. D. G.; GUERRA, N.; LIMA, G. G. R.; SOLA JÚNIOR, L. C. Manejo químico de adubos verdes para sucessão da cana-de-açúcar em sistema de cultivo mínimo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 10, p.86-94, 2011.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.907–913, 2010.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURTI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27; p.1-9, 2003.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L.; FACHIN, P. A. Atributos físicos do solo em áreas cultivadas com feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes sistemas de manejo. **Geoambiente On-line**, Jataí, v. 28, p. 65-79, 2017.

PERNAMBUCO. Governo do Estado. Geografia de Pernambuco. Disponível em:< <http://www.pe.gov.br/conheca/geografia/>>. Acesso em 06 de setembro de 2019.

PINTO, H. M. S.; VIANNA, M. S.; COSTA, L. C.; MARIN, F. R. Produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo baseada em simulações multimodelos e mudanças climáticas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.26, p.11-24, 2018.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.687-695, 2006.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água - Práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica: Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. 2. ed. Viçosa: Editora Ufv, 2009. 279 p.

RAMOS, A. M. R.; AMORIM, B. M. B.; FREIRE, C. T. M.; LIMA, D. L. F. A. Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*passiflora edulis* sims). **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 13, p. 80-87, 2019.

REDIN, M; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, p. 381-392, 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 1805 - 1816, 2008.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, p.1623-1632, 2016.

RIBEIRO, A. R. B.; SILVA, F. F.; MEIRELES, Y. S.; MELO, F. L.; RODRIGUES, R. P. Sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar: um estudo numa usina no Nordeste Brasileiro. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, p. 843-861, 2018.

RODRIGUES, M.; RABELO, F. H. S.; CASTRO, H. A.; ROBOREDO, D.; CARVALHO, M. A. C.; ROQUE, C. G. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 61, p. 1-7, 2018.

RONG, L.; DUAN, X.; ZHANG, G.; GU, Z.; FENG, D. Impacts of tillage practices on ephemeral gully erosion in a dry-hot valley region in southwestern China. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 187, p. 72-84, 2019.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.744 - 750, 2010.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R.; AUGUSTO, R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 2351-2366, 2014.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 24-32, 2010.

RUSU, T.; GUS, P.; BOGDAN, I.; MORARU, P. I.; POP, A. I.; CLAPA, D.; MARIN, D. I.; OROIAN, I.; POP, L. I. Implications of minimum tillage systems on sustainability of agricultural production and soil conservation. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.7, p. 335-338. 2009.

SÁ, J. C. M.; GONCALVES, D. R. P.; FERREIRA, L. A.; MIRSHA, U.; INAGAKI, T. M.; FURLAN, F. J. F.; MORO, R. S.; FLORIANI, N.; BRIEDIS, C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 84, p. 96-105, 2018.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANDHU, H. S.; SINGH, M. P.; VUYURU, M. Minimum or No-Tillage Improves Sugarcane Ratoon Yield on Florida Histosol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 111, p. 1-8, 2019.

SANTOS-FRANCÉS, F.; MARTÍNEZ-GRAÑA, A.; ÁVILA-ZARZA, C.; CRIADO, M. SÁNCHEZ, Y. Comparison of methods for evaluating soil quality of semiarid ecosystem and evaluation of the effects of physico-chemical properties and factor soil erodibility (Northern Plateau, Spain). **Geoderma**, Amsterdam, v. 354, p. 1-14, 2019.

SANTOS, F. A. S.; NUNES, M. C. M.; FARIA JUNIOR, C. A.; ARANTES, E. M.; SEABRA JÚNIOR, S. Taxas de desagregação de Argissolo Vermelho-amarelo em entressulcos e sob chuva simulada. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.23, p. 154-161, 2015.

SANTOS, M. B. C. Características químicas de solo e planta e fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar em municípios do semiárido pernambucano. químicas de solo e planta e fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar em municípios do semiárido pernambucano. 2018. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SCARPARE, F. V.; LIERA, Q. J. V.; CAMARGO, L.; PIRES, R. M. C.; RUIZ-CORRÊA, S. T.; BEZERRA, A. H. F.; GAVA, G. J. C.; DIAS, C. T. S. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 187, p. 110-118, 2019.

SEBEN JUNIOR, G. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Soil aggregation according to the dynamics of carbon and nitrogen in soil under different cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, p.1652-1659, 2016.

SHUKLA, S. K.; JAISWA; V. P.; SHARMA, L.; PATHAK, A. D.; SINGH, A. K.; GUPTA, R.; AWASTHI, S. K.; GAUR, A.; ZUBAIR, A.; TIWARI, R. Sugarcane Yield Using Minimum Tillage Technology Through Subsoiling: Beneficial Impact on Soil Compaction, Carbon Conservation and Activity of Soil Enzymes. **Sugar Tech**, v. 22, p. 987–1006, 2020.

SIGNOR, D.; CZYCZA, R. V.; MILORI, D. M. B. P.; CUNHA, T. J. F.; CERRI, C. E. P. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, p. 1438 - 1448, 2016

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, M. H. M.; FRANTZ, R. M. G.; SANTOS, E. F. O.; FORTES JÚNIOR, A. V.; ARTNER, K. A. R.; SOARES, E. R.; NOGUEIRA, A. E. Qualidade estrutural do solo em função do manejo em sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Agroecossistemas**, Marabá, v. 10, p. 99-114, 2018.

SILVA, M. L. N.; PHILIPPE BLANCANEUX, P.; NILTON CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.97-103, 1998.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 397-402, 1992.

- SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. S.; MOURA, L. C. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, p. 79 - 90, 2015.
- SILVA, T. G. F.; SOUZA, C. A. A.; MOURA, M. S. B.; MARIN, F. R.; CARVALHO, H. F. S.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; GALVÍNIO, J. D. Balanço de Energia, Emissão Foliar e Eficiência do Uso da Radiação pela Cana-de-Açúcar em Cultivo sem e com Palhada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, p. 69 - 78, 2019.
- SILVA, T. P.; NUNES, M.C.M.; LIMA, C. L. R.; PAIVA, R.B.; BARBOSA, L.S.; FISCHER, L. O.. Qualidade Estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos no bioma Pampa no Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, Viçosa, v. 08, p. 115-123, 2018.
- SILVA, V. M.; TEIXEIRA, A. F. R.; SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P.; BENASSI, A. C.; MENDONÇA, E. S.. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Densidade do Solo em Sistemas de Adubação Orgânica de Café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1436-1444, 2015.
- SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; SCALA JR, N. L.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under diferente soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Berkeley, v. 8, p. 015014, 2013.
- SIMÕES NETO, D. E; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE; F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.. Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 347-354, 2012.
- SIMON, C. P.; VITÓRIA, E. L.; LACERDA, E. G.; AVANCINI, Y. S.; RODRIGUES, T. F.; SIMON, C. A. Emissão de CO₂, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. **Nativa, Sinop, Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Mato Grosso, v. 7, p. 494-499, 2019.
- SIQUEIRA, R. H. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N.; CARVALHO, R. C. S. Agregação de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a métodos de controle de plantas invasoras na cultura do café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1128-1134. 2014 .
- SOARES, M. D. R.; CAMPOS; M. C. C.; CUNHA, J. M.; SOUZA, Z. M.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, L. S. Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 13, p. 1-13, 2018.
- SOUZA, E.D.; SILVA, C.M.R.; PINTO, F. A.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H.B.; PACHECO, L.P.; TERRA, F. D.; LAROCA, J.V.S. Soil quality indicators after conversion fields of “murundu” in no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 54, p. 1-8, 2019.
- SOUZA, G. B.; MARTINS FILHO, M. V. M.; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em guariba - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, p.490-500, 2012.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, F. S.. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 135-146, 2014.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A.V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 658-663, 2012.

STEFANOSKI, D. C.; FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), Brasília, v. 51, p. 1643-1651, 2016.

TAVARES, O. C. H.; ZONTA, E. L. E.. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 61-68, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. Revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573p.

THEODORO, G. F.; GOLIN, H. O.; SILVA, M. S.; REZENDE, R. P.; ABREU, V. L. S. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 2, p. 25-30, 2018.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região Noroeste do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, p. 166-176, 2014.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Exeter, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TEZOLIN, T. A.; MONTEIRO, F. N.; FALCÃO, K. S.; MENEZES, R. S.; XIMENES, T. S.; PANACHUKI, E.; CARVALHO, L. A. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, p. 1 -15, 2021.

TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; DOS SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; DA CRUZ HARTMAN, D.; JUNIOR, M. N. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v.126, p. 203-218, 2013.

TIVET F.; SÁ, J. C. M., LAL, R., BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; SÁ, M. F. M.; HARTMAN, D. C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 209-210, p. 214-225, 2013.

TORNQUIST, C. G.; GIASSON, E.; MIELNICZUK, J.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M. Soil organic carbon stocks of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 975-982, 2009.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), Campina Grande, v.18, p. 381-386, 2014.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocioso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 309 - 316, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O Solo como Sistema**. Curitiba: Edição dos Autores, 2011. 104 p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma Visão sobre Qualidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p. 2105-2114, 2011.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Estados Unidos, v. 37, p. 29-38, 1934.

WANG, Y.; ZHANG, J. H.; ZHANG, Z. H. Influences of intensive tillage on water-stable aggregate distribution on a steep hillslope. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 151, p. 82-92, 2015.

WINK, C.; REINERT, D. J.; TORNQUIST, C. G.; SILVA, I. R. Dinâmica do Carbono e Nitrogênio em Plantações de Eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1623-1632, 2015.

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

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, p. 337-358, 1936.