



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**CROTALÁRIA E SOJA NA REFORMA CONVENCIONAL
CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS:
UM ESTUDO DE CASO**

Londrina
2021

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**CROTALÁRIA E SOJA NA REFORMA CONVENCIONAL
CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS:
UM ESTUDO DE CASO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia

Orientador – Prof. Dr. João Tavares Filho
Coorientador – Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

MORAES, LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES.
CROTALÁRIA E SOJA NA REFORMA CONVENCIONAL CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS: UM ESTUDO DE CASO / LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES MORAES. - Londrina, 2021.
175 f.

Orientador: JOÃO TAVARES FILHO TAVARES FILHO.
Coorientador: THADEU RODRIGUES DE MELO MELO.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.
Inclui bibliografia.

1. substâncias húmicas - Tese. 2. compactação do solo - Tese. 3. estoque de carbono e nitrogênio - Tese. 4. fertilidade - Tese. I. TAVARES FILHO, JOÃO TAVARES FILHO. II. MELO, THADEU RODRIGUES DE MELO. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**CROTALÁRIA E SOJA NA REFORMA CONVENCIONAL
CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS:
UM ESTUDO DE CASO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Adriana Pereira da Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Flávio Hiroshi Kaneko
Universidade Federal do Triângulo Mineiro –
UFTM

Prof. Dr. Mauricio Roberto Cherubin
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz –
USP

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 04 de fevereiro de 2021.

Dedicatórias

Esta tese, ou melhor, essa minha carreira acadêmica, desde a graduação até o doutorado só foi possível, porque duas pessoas deixaram de sonhar seus sonhos, de realizarem suas realizações, para me apoiar: meus pais Antônio Valdecy de Moraes e Maria Luzia de Assis Moraes. Pilares da nossa Família. A Fé em Deus sempre os guiou para dar forças para nossa família. Seus ensinamentos sobre honestidade, caráter e humildade é o que nos mantém unidos. Obrigado meus pais. Obrigado. Para vocês eu dedico este trabalho.

Também as minhas irmãs, Aline Cristina de Assis Moraes e Julia Thaís de Assis Moraes. Tanto nos momentos de felicidade, como os de não muita felicidade, estamos sempre unidos. Obrigado, vocês sempre estão no meu coração.

Ao meu afilhado, João Lucas de Moraes Morais. A maior benção de Deus na vida da Família Moraes. A inocência de uma criança nos ensina que a vida é para ser vivida com alegria.

A minha namorada Beatriz Muller Gravello. Pela paciência, compreensão, companheirismo e ajuda desde o mestrado, 24 horas por dia nos 365 dias do ano.

E a Santa Família de Nazaré: Nosso Senhor Jesus Cristo, a Virgem Maria e ao Nosso São José. A Fé nos faz caminhar...

E quando a sua motivação for se exaurindo...
Faça apenas pelo seu propósito: de fazer o seu melhor, sempre!
Lucas Moraes

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Londrina e ao Laboratório de Solos da UEL. Lugares de crescimento e desenvolvimento intelectual, profissional e pessoal.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Tavares Filho, que por várias vezes foi professor–amigo e amigo–professor. Ensinaamentos educacionais, científicos, profissionais e pessoais. Além disso, nos ensina como ser resilientes na vida. Obrigado Professor.

Aos Professores que fizeram parte da minha vida desde a graduação: André Martinez de Oliveira, Claudemir Zucarelli, Cristiane de Conti Medina, Gustavo Adolfo Fregonezi, Inês Batista Fonseca, Lucia Sadaio Takahashi, Marcelo Augusto de Aguiar e Silva, Maria de Fátima Guimarães e Ricardo Ralisch. Professores que foram essenciais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos profissionais e amigos para vida que o Laboratório de Solos trouxe: Adriana Pereira da Silva, Alex Figueiredo, Giovani Ferreira, Jean Carlos Oliveira, Thadeu Rodrigues de Mello e Thiago Ometto Zorzenoni. De cafés, coletas, análises, discussões e artigos. Sempre estivemos juntos!

Aos Químicos do Laboratório de Solos da UEL: Márcio Praxedes e João Machado, mais do que profissionais e professores, são instrutores para a vida. Obrigado! Obrigado!

De forma especial, agradeço a: Gabriela Moraes de Oliveira, Juliana Gimenes de Moraes e Tamires Firmino. Pessoas importantes para realização das análises desta tese. O comprometimento e a dedicação de vocês em cada análise, me faz não encontrar palavras para lhes agradecer. Obrigado.

Aos integrantes do LabSOLOS Futebol Clube: Duan Catharino, Gabriel Pastore e Higor Gondo. Mais do que futebol, integrantes de pesquisa. Obrigado meus amigos.

Aos profissionais da Usina Da Mata: Agerlan Silva, Dejair de Moraes, Adriano Ribeiro, Getúlio Silva e Sr. Datrino. Pessoas fundamentais para execução desta tese.

Aos Professores, Antônio Carlos de Azevedo e Mauricio Roberto Cherubin, ambos da Esalq-USP, pelo apoio na caracterização mineralógica do solo.

MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalária e soja na reforma convencional canavieira em solos arenosos**: um estudo de caso. 2021. 175 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

Posto o cultivo canavieiro sob solos arenosos, isto implica da necessidade de práticas de manejo capazes de melhorar os atributos destes solos. Visto que a cana-de-açúcar denota de uma cultura semi-perene, há, portanto, que as ações de manejo sejam realizadas no período de reforma a fim de melhorar os atributos do solo para cultura. Nesse sentido, foi testada a hipótese que sistemas de manejo, com uso adubo verde proporciona as melhores condições para os atributos de solos arenosos na reforma convencional canavieira, com objetivo de analisar os efeitos nos atributos do solo sob diferentes sistemas de manejos na reforma convencional canavieira. Para isso, sob condições de Argissolo Vermelho distrófico arênico, foram comparadas, três áreas sob diferentes sistemas de manejo na reforma convencional, sendo estas: i) Preparo Convencional + Cana (PREP+CANA); ii) Preparo Convencional + Adubo Verde (*Crotalária spectabilis*) (PREP+ADV); e, iii) Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA). Em todas as áreas foram abertas oito trincheiras de 1,00 x 0,50 x 1,00 m (comprimento, profundidade e largura) após 12 meses do período de reforma, para avaliação dos teores de substâncias húmicas (de carbono orgânico, ácidos fulvicos e húmicos e humina) e fertilidade, na camada de 0 – 10 cm. E, depois de 36 meses do período de reforma, foram retiradas amostras na camada de 0 – 40 cm, com intervalos de 10 cm, para avaliação dos atributos físicos (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência a penetração e índice de estabilidade de agregados) e atributos químicos (teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total; acidez (pH e H+Al); teores de cátions básicos (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺); CTC Potencial; saturação por bases; teores disponíveis de fósforo e enxofre; e, teores de micronutrientes metálicos (Fe, Mn e Zn)). Concluímos que o sistema de manejo, PREP+ADV, promove as melhores condições de teores de substâncias húmicas (maiores teores de ácidos fulvicos e húmicos, e relação (AF+AH:HU), e menores teores de humina), atributos físicos (< Ds e > porosidade (Ma, Mi e PT), e índices de estabilidade de agregados). Também, que este sistema de manejo se assemelha ao PREP+CANA, no que se refere ao acúmulo de carbono orgânico e nitrogênio total. Para atributos químicos, o PREP+ADV, eleva os teores de P, S, Mn e Zn, em comparação aos outros sistemas de manejo. Porém, é o sistema que mais contribui para condições de acidez e baixa V%. Por sua vez, o sistema de manejo, PREP+CANA, proporciona incrementos para acúmulo de carbono orgânico e nitrogênio total, além de, proporcionar menor acidez e alta saturação por bases. Por outro lado, é o sistema de manejo, que mais prejudica a agregação do solo, com os menores índices de estabilidade de agregados. Já o sistema de manejo, PREP+SOJA, possibilita as melhores condições químicas para os solos arenosos: menor acidez e maior saturação por bases. Contudo, o PREP+SOJA, apresenta ser o sistema de manejo que mais intensifica a presença de compactação: maiores níveis de densidade do solo e os menores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Para mais, a melhoria dos atributos de solos arenosos é correlacionada com aumento dos teores de carbono orgânico na camada de 0 – 40 cm, e que, por meio das análises multivariadas, tem-se que os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+SOJA, são mais semelhantes entre si, se contrastando do sistema de manejo, PREP+ADV.

Palavras-chaves: substâncias húmicas, estoques de nitrogênio, agregação, compactação, fertilidade.

MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalaria and soybean in conventional sugarcane reform in sandy soils: a case study**. 2021. 175 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Given the sugarcane cultivation on sandy soils, this implies the need for management practices capable of improving the attributes of these soils. Since sugarcane denotes a semi-perennial crop, therefore, management actions must be carried out during the reform period to improve soil attributes for the crop. In this sense, the hypothesis that management systems with the use of green manure provides the best conditions for the attributes of sandy soils in conventional sugarcane reform was tested, to analyze the effects on soil attributes under different management systems in conventional sugarcane reform. For this, under conditions of Kanhaplic Haplustults (Ultisol), three areas under different management systems in conventional reform were compared, namely: i) Conventional Preparation + Sugarcane (PREP+CANA); ii) Conventional Preparation + Green Fertilizer (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); and iii) Conventional Preparation + Soybean (PREP+SOYBEAN). In all areas, eight trenches measuring 1.00 x 0.50 x 1.00 m (length, depth, and width) were opened after 12 months of the renovation period, to evaluate the contents of humic substances (organic carbon, fulvic acids and humic and humin) and fertility, in the 0 – 10 cm layer. And, after 36 months of the reform period, samples were taken in the 0 – 40 cm layer, at 10 cm intervals, to evaluate the physical attributes (soil density, macroporosity, microporosity, total porosity, resistance to penetration and index of aggregate stability) and chemical attributes (contents and stocks of organic carbon and total nitrogen; acidity (pH and H+Al); levels of basic cations (Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺); CTC Potential; base saturation; available levels of phosphorus and sulfur, and, levels of metallic micronutrients (Fe, Mn and Zn)). We conclude that the management system, PREP+ADV, promotes the best conditions of humic substances contents (higher fulvic and humic acid contents, and ratio (AF+AH:HU), and lower humin contents), physical attributes (< Ds and > porosity (Ma, Mi, and PT), and aggregate stability indexes). Also, that this management system is like PREP+CANA, about the accumulation of organic carbon and total nitrogen. For chemical attributes, PREP+ADV increases the levels of P, S, Mn and Zn, compared to other management systems. However, it is the system that contributes the most to acidity and low V% conditions. In turn, the management system, PREP+CANA, provides increments for the accumulation of organic carbon and total nitrogen, in addition to providing lower acidity and high base saturation. On the other hand, it is the management system that most harms soil aggregation, with the lowest levels of aggregate stability. The management system, PREP+SOYA, enables the best chemical conditions for sandy soils: less acidity and greater base saturation. However, PREP+SOYBEAN is the management system that most intensifies the presence of compaction: higher levels of soil density and lower levels of total porosity, macroporosity and microporosity. Furthermore, the improvement in the attributes of sandy soils is correlated with an increase in organic carbon content in the 0 – 40 cm layer, and that, through multivariate analysis, the PREP+CANA and PREP+SOYBEAN management systems, are more like each other, contrasting with the management system, PREP+ADV.

Keywords: humic substances, nitrogen stocks, aggregation, compaction, fertility.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	CANA-DE-AÇÚCAR: ORIGEM E CONTEXTO ATUAL NO BRASIL	18
2.2	SOLOS ARENOSOS: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E MANEJO	20
2.3	ADUBAÇÃO VERDE	25
2.3.1	Conceitos, Manejo E Influência A Produtividade Agrícola	25
2.3.2	Efeitos Dos Adubos Verdes Nas Propriedades Do Solo.....	27
2.4	SISTEMAS DE REFORMA CANAVIEIRO.....	30
2.5	REFERÊNCIAS: INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA.....	32
3.	ARTIGO A) DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REFORMA CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS: IMPACTOS NA FRAÇÃO ORGÂNICA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	43
3.1	INTRODUÇÃO	46
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	47
3.2.1	Áreas De Estudo	47
3.2.2	Amostragem De Solo	50
3.2.3	Determinação Das Substâncias Húmicas E Atributos Químicos Do Solo	50
3.2.4	Análises Estatísticas	52
3.3	RESULTADOS	52
3.3.1	Substâncias Húmicas	52
3.3.2	Atributos Químicos	52
3.3.3	Correlações Entre Substâncias Húmicas (Sh) E Atributos Químicos.....	55
3.4	DISCUSSÃO	55
3.4.1	Implicações Dos Sistemas De Reforma Nas Substâncias Húmicas.....	55
3.4.2	Efeitos Dos Sistemas De Reforma Nos Atributos Químicos Do Solo.....	61
3.4.3	Relação As Entre Substâncias Húmicas E A Fertilidade Do Solo.....	63
3.5	CONCLUSÃO.....	65
3.6	AGRADECIMENTOS.....	65
3.7	APÊNDICES.....	66

3.8	REFERÊNCIAS.....	67
4.	ARTIGO B: ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS ARENOSOS SOB DIFERENTES MANEJOS NA REFORMA CONVENCIONAL CANAVIEIRA.....	73
4.1	INTRODUÇÃO	76
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	78
4.2.1	Região De Estudo E Condições Edafoclimáticas	78
4.2.2	Áreas De Estudo	78
4.2.3	Manejo Das Áreas Durante Os Ciclos De Cultivo.....	84
4.2.4	Amostragem De Solo	84
4.2.5	Mensuração Dos Atributos Do Solo	85
4.2.6	Análises Estatísticas.....	86
4.3	RESULTADOS	87
4.3.1	Atributos Físicos Do Solo	87
4.3.2	Correlações Entre Os Teores De Carbono E Os Atributos Físicos E Análises Multivariadas	88
4.4	DISCUSSÃO	95
4.4.1	Os Sistemas De Manejo No Período De Reforma E Os Atributos Físicos Do Solo	95
4.4.2	A Relação Dos Sistemas De Manejo No Período De Reforma E As Condições Físicas Do Solo	104
4.5	CONCLUSÃO.....	106
4.6	AGRADECIMENTOS.....	107
4.7	REFERÊNCIAS.....	108
5.	ARTIGO C) FERTILIDADE DE SOLOS ARENOSOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REFORMA CONVENCIONAL CANAVIEIRA	116
5.1	INTRODUÇÃO	119
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	121
5.2.1	Região De Estudo E Condições Edafoclimáticas	121
5.2.2	Áreas De Estudo	121
5.2.3	Manejo Das Áreas Durante Os Ciclos De Cultivo.....	127

5.2.4	Amostragem De Solo.....	127
5.2.5	Mensuração Dos Atributos Químicos Do Solo.....	128
5.2.5.1	Teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total	128
5.2.5.2	Acidez e cátions básicos	129
5.2.5.3	Fósforo disponível e enxofre	130
5.2.5.4	Micronutrientes metálicos.....	130
5.2.6	Análises Estatísticas.....	130
5.3	RESULTADOS	131
5.3.1	Atributos Químicos	131
5.3.2	Correlações Entre CO E Os Atributos Químicos Do Solo	138
5.3.3	Análises Multivariadas: Cluster E Análises Componentes Principais.....	138
5.4	DISCUSSÃO	138
5.4.1	Fertilidade Do Solo E Os Sistemas De Manejo	138
5.4.1.1	Teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total	138
5.4.1.2	Acidez e cátions básicos	147
5.4.1.3	Disponibilidade de fósforo e enxofre.....	150
5.4.1.4	Disponibilidade de micronutriente metálicos	153
5.4.2	A Relação Entre O Carbono Orgânico E Os Atributos Químicos Do Solo.....	154
5.4.3	O Impacto Dos Sistemas De Manejo Na Reforma Convencional Canavieira Em Solos Arenosos	158
5.5	CONCLUSÃO.....	158
5.6	AGRADECIMENTOS.....	159
5.7	REFERÊNCIAS.....	159
5.8	APÊNDICE 1. ARTIGO C) CORRELAÇÕES ENTRE CO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	160
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
7.	CONCLUSÃO GERAL.....	175

1. INTRODUÇÃO

O período de reforma é considerado como o de maior importância para cana-de-açúcar. Dada a característica de uma cultura semi-perene, isto converge que práticas exercidas neste período sejam capazes de proporcionar as melhores condições de porosidade, fertilidade e adição e manutenção de matéria orgânica no solo (Coleti, 2010; Barbosa, 2011). Para dessa forma, se obter elevadas produtividades e diminuir as taxas de queda de produtividade ao longo dos ciclos de colheita.

Atualmente neste período de reforma são desempenhadas, dentre vários sistemas de manejo no período de reforma, três sistemas de manejo: o preparo convencional, seguido do plantio da cana-de-açúcar; o preparo convencional, seguido do plantio de adubos verdes e após, o plantio direto da cana sobre o massa verde das plantas de cobertura; e, o preparo convencional, seguido do cultivo da soja, em que, depois da colheita da oleaginosa, ocorre o plantio da cana-de-açúcar, em modo cultivo mínimo (Bolonhezi & Gonçalves, 2015). A decisão sobre qual sistema de reforma a ser executado, tange a questões relacionadas a época de reforma, disponibilidade de tempo e maquinário e principalmente, sobre os custos envolvidos nestas operações.

O preparo convencional, presente em todos os sistemas, caracterizado pelas operações de revolvimento (gradagem), subsolagem e nivelamento, tem sua utilização justificada pela ação de descompactação no solo (Coleti, 2010). Devido ao intenso tráfego de máquinas (tratores, transbordos e colhedoras) ao longo dos ciclos de colheita, além, de operações realizadas sob condições de solo não friável (Esteban et al., 2020), tais fatores exprimem redução da porosidade e aumento da densidade; o que se torna prejudicial para cultura. Dessa forma, as operações mecânicas passam a ser opção para a mitigação dos problemas físicos do solo, para o plantio da cana-de-açúcar (Moraes et al., 2019).

O sistema de manejo, preparo convencional + cana, é caracterizado pelas operações de revolvimento do solo e pelo seguido plantio da cana-de-açúcar. Como aspectos positivos, tem-se o controle de pragas e doenças e a agilidade das operações, em razão da ausência de planejamento para o uso de adubos verde ou culturas comerciais. Contudo, essa vantagem é minimizada quando se atenta que este sistema de manejo, não induz a rotação de culturas, e assim, poder contribuir para diminuição de matéria orgânica e da atividade microbiana (Souza et al., 2019).

Já o sistema de manejo, preparo convencional + adubo verde, tem por finalidade a utilização de plantas de cobertura e o plantio da cana-de-açúcar sobre a massa verde destas

1 plantas (Coleti, 2010). Os benefícios deste sistema de manejo, denotam da presença da massa
2 vegetal dos adubos verdes sobre o solo, antes e depois do plantio, o que garante proteção do
3 solo contra a erosão; adição e manutenção de matéria orgânica; aumento da friabilidade do solo,
4 melhoria das condições do solo para operações agrícolas; aumento dos teores de nutrientes, a
5 citar, N, P, S e K, por meio dos processos de ciclagem, solubilização, decomposição e
6 mineralização por partes dos adubos verdes; além de contribuir para redução de plantas
7 daninhas (Pereira et al., 2016; Das et al., 2018; Melander et al., 2020).

8 Quanto ao sistema de manejo, preparo convencional + culturas comerciais, este
9 sistema se utiliza do período de reforma para o cultivo de amendoim ou soja (Fernandes et al.,
10 2014; Guimarães Júnior et al., 2019). Atualmente, o cultivo da soja neste período, tem
11 acarretado a substituição dos sistemas de manejo, preparo convencional + cana e preparo
12 convencional + adubo verde.

13 As razões para isto, tangem ao ganho econômico direto proporcionado pela
14 oleaginosa, devido a comercialização dos grãos ou pelo recebimento financeiro de áreas em
15 arrendamento, o que eleva o incentivo por estes sistemas de reforma com soja. Também, por
16 parte da sojicultura este sistema de manejo recebe incentivos. O fato de haver um aumento da
17 área de cultivo da soja sem a necessidade da incorporação de novas áreas, representa uma
18 oportunidade de crescimento sustentável para cadeia econômica da sojicultura.

19 Nesse contexto, observa-se que uma pergunta é incitada: qual o impacto de
20 diferentes sistemas de manejos nos atributos do solo na reforma convencional canavieira?
21 Pergunta essa, de suma importância posto o atual cenário canavieiro no Brasil; caracterizado
22 pela produtividade estagnada e a presença da cultura sob solos de baixo potencial produtivo, ou
23 seja, em solos arenosos.

24 Mesmo após uma forte expansão da cana-de-açúcar no Brasil, datada de 2005 a
25 2020, o que representou um aumento de 80 % e 50 %, na área de cultivo e de produção (Conab,
26 2020), respectivamente, a produtividade canavieira não ultrapassou aumentos de 10 %. Neste
27 mesmo período, a produtividade de colmos oscilou de 74 para 76 ton ha⁻¹ e a de açúcar, de 7 a
28 10 ton ha⁻¹ (Conab, 2020), indicando que o aumento da produção canavieira neste período
29 esteve estreitamente associado a incorporação de novas áreas.

30 Sobre a incorporação destas novas áreas, esta expansão foi direcionada sob áreas
31 de pastagens e solos arenosos (Oliveira et al., 2018). Ainda a respeito deste contexto, é
32 necessário enfatizar que a cana-de-açúcar já é cultivada sob extensas áreas de solos arenosos,
33 como nos estados de São Paulo, Paraná e Goiás (Trindade & Castro, 2015; Donagemma et al.,
34 2016).

1 Nesse sentido, é observado que a presença da cana-de-açúcar em solos arenosos
2 traz consigo um desafio adicional para cultivo desta cultura. Isso porque, quando comparado
3 aos solos argilosos, os solos arenosos possuem menor potencial e maior risco produtivo para
4 cultura. Este menor potencial produtivo é em razão das características destes solos, como de
5 baixa CTC, armazenamento hídrico e acúmulo de matéria orgânica; fraca agregação; limitada
6 disponibilidade de N, P e S; e, elevada perda de nutrientes por lixiviação (Werle et al., 2008;
7 Reichert et al., 2016; Yost & Hartemink, 2019).

8 Possivelmente, uma das alternativas para este quadro, seja a opção pelo uso de
9 sistemas de manejo com adubos verdes no período de reforma. Posto que o período de reforma
10 corresponde ao de maior intervenção as propriedades do solo, talvez, a presença de plantas de
11 cobertura neste período poderia colaborar para melhoria das condições de solo para cultura.

12 Resultados de Tenelli et al (2019) demonstraram que o uso de adubo verde –
13 *Crotalaria spectabilis*, aumentou os teores e os estoque de carbono em solo arenoso. Dessa
14 forma, o que representa aumento nos teores da fração orgânica do solo, e, portanto, de
15 respectivas influências positivas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

16 Dado as características da fração orgânica, de elevada área de superfície específica,
17 baixo ponto de carga zero e inúmeros grupos funcionais, isto converge para aumento da CTC
18 potencial e efetiva de solos arenosos (Liu et al., 2006; Costa et al., 2020). Além disso, a matéria
19 orgânica contribui para manutenção da porosidade e atenuação da compactação em solos
20 arenosos (Braida et al., 2006; 2007; 2008; Reichert et al. 2018). Portanto, aspectos que indicam
21 melhorias para condições de fertilidade e de estrutura de solos arenosos.

22 Assim sendo, nota-se que uma nova pergunta é instigada: qual o sistema de manejo,
23 preparo convencional + cana, preparo convencional + adubo verde ou preparo convencional +
24 soja, proporciona as melhores condições para os atributos de solos arenosos? A resposta para
25 esta pergunta, pode então a promover melhores práticas de manejo para a cana-de-açúcar.

26 Logo, o que pode vir a impactar em saltos de produtividade, e assim, minimizar a
27 exigência da incorporação de novas áreas de cultivo. Além de garantir segurança para produção
28 canavieira a fim de garantir o fornecimento nacional de biocombustíveis, bioenergia e açúcar
29 para uma crescente demanda mundial (Andrade Júnior et al., 2019; Hughes et al., 2020).

30 Face ao exposto, esta tese tem por base testar a hipótese de que sistemas de manejo,
31 com uso adubo verde proporcionam as melhores condições para os atributos de solos arenosos
32 na reforma convencional canavieira. Nesse sentido, com objetivo de analisar os efeitos nos
33 atributos de solos arenosos sob diferentes sistemas de manejos na reforma convencional
34 canavieira.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR: ORIGEM E CONTEXTO ATUAL NO BRASIL

Data-se que a cana-de-açúcar tenha sido cultivada 8.000 anos a.C, na Nova Guiné, o que evidencia que o seu centro de origem seja a Oceania. Relatos ainda exibem que a sua difusão além da Papua-Nova Guiné ocorreu 3.000 anos a.C para as regiões da Índia e da China. E que, somente século 3 a.C, a cultura chegou no continente europeu, introduzido pelos espanhóis. Sendo no continente europeu, de alta relevância durante o período de exploração colonial (Castro, 2016).

No Brasil, a cultura chegou no século XVI, por meio de Martins Afonso de Souza, na capitania de São Vicente, Estado de São Paulo. Durante o período colonial, a cultura atendia as necessidades da metrópole portuguesa, a fim de colonizar as novas terras e produzir açúcar para o comércio da época (Figueiredo, 2010).

Atualmente, a cultura está presente em todos os estados brasileiros. Na região denominada Centro-Sul, estão os estados do SP, PR, GO, MG e MS; sendo estes os maiores produtores nacionais, em que o período de colheita ocorre de março a novembro. Já, na região Nordeste, composta pelos estados da BA, SE, AL, PE, RN e PB, estes denotam das menores produções de açúcar e etanol, além de um período diferente de colheita, ocorrendo de dezembro a março (IBGE, 2019).

A partir de 2004, com implementação dos veículos flex-fuel, o setor sucroenergético passou um período de forte expansão (Bernardo et al., 2019). De 2005 a 2020, a área canavieira no Brasil cresceu 80 %, saindo de 5 para 9 milhões de hectares (Figura 56, A – Apêndice 4). Uma expansão direcionada principalmente na incorporação de pastagens degradadas e de solos arenosos (Oliveira et al., 2019; Conab, 2020).

Este aumento de área de produção permitiu alavancar os indicadores econômicos do setor. Neste período, de 2005 a 2020, a produção sucroenergética passou de 431.414,10 para 642.061,42 milhões de toneladas; um aumento de 48,82 %. Seguindo este aumento, a produção de açúcar e etanol hidratado cresceram, respectivamente, em 48,88 % e 151,71 %. A produção de etanol anidro foi reduzida em 8 %, justificada pela preferência das usinas para produção de etanol hidratado, para atender a demanda por biocombustíveis (Conab, 2020).

Além disso, de 2010 a 2019 o setor aumentou em 125 % a sua oferta de energia; o que representou adicional de 10,0 para 22,50 mil GWh para sistema nacional. Dessa maneira, o setor sucroenergético elevou a sua contribuição para segurança energética no Brasil nos

1 períodos de estiagem, por exemplo. Como também, atenuou a necessidade do uso de
2 termelétricas, gerando impactos positivos para o meio ambiente (Única, 2020).

3 Assim, este cenário positivo se refletiu da mesma forma no desempenho econômico
4 de várias regiões, no que tange a geração de emprego e renda, principalmente nos estados de
5 SP, PR, MS e GO. Estudos de Shikida e Souza (2009), Câmara e Caldarelli (2016) e Moraes et
6 al (2016) concluíram haver que diante do cultivo da cana-de-açúcar, isto instituiu um novo ciclo
7 econômico, atrelado desde a cadeia de insumos e mão-de-obra até na alavancagem da circulação
8 monetária no comércio local. Por conseguinte, tal fato incidiu no aumento da renda per-capita,
9 na atenuação da pobreza e na melhoria das condições de desenvolvimento humano destas
10 regiões.

11 Nesse sentido, observa-se que a expansão do setor para as áreas de pastagens
12 degradadas e de solos arenosos, desempenhou um papel fundamental para economia brasileira.
13 De outro forma, incorporação destas áreas pelo cana-de-açúcar também representou uma
14 expansão sustentável pelo setor. O cultivo agrícola em áreas mais restritivas, junto a não
15 exploração de novas terras, infere, portanto, na otimização dos recursos naturais, além de
16 promover a preservação da fauna e flora (Lima et al., 2020).

17 No entanto, apesar deste contexto positivo e aparentemente promissor, é necessário
18 se atentar que neste mesmo período de 15 anos, a produtividade sucroenergética manteve-se
19 estagnada. A produtividade de colmos, obteve acréscimos de apenas 2,73 %, ou seja,
20 aumentando de 74,32 para 76,35 ton ha⁻¹. Já a produtividade de açúcar, se elevou de 7,40 para
21 9,86 ton ha⁻¹, o que representou acréscimos de 7,40 % (Conab, 2020) (Figura 58, A e B –
22 Apêndice 4). Portanto, resultados muito inferiores em relação aos dados tratados anteriormente.

23 Em visto disso, tais dados demonstram que a oferta de biocombustíveis, energia e
24 açúcar pelo setor canavieiro no período mencionado, foi assegurado sobretudo, pela expansão
25 da área de cultivo. Outro aspecto evidente nestes dados, é a baixa efetividade agrônômica do
26 setor sucroenergético, que diz respeito ao um aumento vertical na produção canavieira.

27 Posto que, o potencial biológico da cana-de-açúcar é de produzir 300 ton ha⁻¹ e que
28 o clima pode impactar em 50 % deste potencial produtivo (Landell & Bressiani, 2010), percebe-
29 se uma lacuna (de 50 %), preponderante ao setor; ou seja, de desempenhar melhores condições
30 para o cultivo da cultura.

31 Conforme Bernardo et al (2019), estes resultados de baixa eficiência agrônômica
32 apontam para um comprometimento futuro do setor sucroenergético. Haja visto a demanda
33 crescente por biocombustíveis, energia e açúcar para as próximas décadas (Hughes et al., 2020),

1 isto aponta que, possivelmente, o setor sucroenergético brasileiro não seja capaz de atender tais
2 demandas, sem a necessidade de um novo ciclo de expansão.

3 Contudo, o atual cenário de pressão ambiental pela preservação da fauna e flora e a
4 competição da cana-de-açúcar pelo uso e ocupação do solo com outras culturas (e.g.,
5 oleaginosas, cereais e citrus) institui um contexto amplamente desfavorável para um novo ciclo
6 de expansão (Bernardo et al., 2019). Dessa forma, alternativas devem ser estudadas a fim de
7 promoverem uma melhor eficiência agrônômica no cultivo da cana-de-açúcar.

8 Baseado no conceito agrônômico de que a potencial produtivo de uma cultura é
9 dado pelo seu potencial genético e pela interação com ambiente (Borém, 2008), provavelmente
10 ações de manejo que melhorem os atributos do solo seja uma alternativa. Posto que as condições
11 do solo podem elevar a disponibilidade de água, o fluxo de gases, a disponibilidade de
12 nutrientes e o enraizamento (Rabot et al., 2018), observa-se que tais aspectos convergem para
13 o fornecimento de elementos vitais para cultura: água, oxigênio e nutrientes. Assim, o que pode
14 elevar as condições ambientais e conseqüentemente, a probabilidade da expressão genética e
15 fenotípica da cultura para obtenção de altas produtividades.

16

17 **2.2 SOLOS ARENOSOS: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E MANEJO**

18

19 Solos arenosos são aqueles classificados como solos de textura arenosa, areia franca
20 ou franco-arenoso, até a camada de 0,75 m (Donagemma et al., 2016). Correspondem a solos
21 contendo mais que 70 % de areia em sua classificação textural, segundo Santos et al (2015).

22 No mundo, os solos arenosos estão presentes em mais de 900 milhões de hectares
23 (Yost & Hartemink, 2019). Já no Brasil, estes solos abrangem uma área de cerca de 8.561.000
24 milhões de hectares, correspondente a 8 % do território nacional. São representados
25 principalmente pelos Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos (Donagemma et al.,
26 2016).

27 Apesar de considerados como solos de baixo potencial agrícola, em certas regiões
28 do planeta, estes solos é única opção para produção agrícola. O que ressalta a importância destes
29 solos tanto para produção de subsistência, como para produção de commodities (Lumbrelas et
30 al., 2015).

31 O menor potencial produtivo dos solos arenosos, quando comparados aos solos
32 argilosos, deve-se sobretudo a sua baixa reatividade (solos de menor área de superficial
33 específica (ASE) e de partículas de maior diâmetro, em relação a silte e argila).

1 Estas características, possuem origem na composição mineralógica destes solos. A
2 mineralogia predominantemente composta por quartzo, infere, portanto, na presença de um
3 mineral resistente ao intemperismo. Isto é, de um mineral que não se decompõe, mas apenas se
4 fragmenta, sem, porém, ser alterado quimicamente (Vieira, 1988).

5 Nesse sentido, as partículas apresentam uma limitada superfície efetiva exposta,
6 logo, com um baixo número de grupos funcionais e quantidade de cargas (Suzuki et al., 2019).
7 Meurer (2012) discorre que a ASE das argilas tende a variar de 7×10^{-3} a $8 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, já a
8 ASE das areias são em torno de $60 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$. Assim, a limitada reatividade dos solos arenosos
9 expõe um aspecto negativo para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Logo, o que
10 converge para o baixo potencial produtivo destes solos.

11 Para os atributos químicos, a baixa quantidade de cargas elétricas no complexo
12 sortivo, tange a perdas por lixiviação, de cátions básicos (e.g., Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) e de ânions,
13 como $\text{N}(\text{NO}_3^-)$, $\text{S}(\text{SO}_4^{2-})$ e $\text{P}(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$. Nesse contexto, trabalhos de Werle et al (2008) e
14 Oliveira et al (2011), verificaram aumento na lixiviação de bases trocáveis em solos de textura
15 arenosa.

16 De outra forma, Ucker et al (2015) observaram que em Neossolos Quartzarênicos
17 há incrementos nos teores de fósforo em profundidade. A baixa capacidade de adsorção de P
18 pelos solos arenosos, seria então, um fator positivo para o aumento deste elemento nas camadas
19 profundas. Sendo assim, o que melhora a disponibilidade de P para as culturas.

20 Quanto aos atributos físicos, a baixa reatividade influi sobre a baixa capacidade de
21 retenção de água (CRA) e na fraca agregação destes solos. Além disso, as partículas de areia
22 pelo seu maior diâmetro e superfície rugosa, incide em um rearranjo menos favorável, a ocupar
23 os espaços vazios do solo. Dessa maneira, tais aspectos levam a consideração de Reichert et al
24 (2003): de que solos arenosos são menos suscetíveis a compactação, porém, altamente
25 suscetíveis a desagregação. E o inverso, é válido para os solos argilosos.

26 Para a limitada CRA é necessário considerar que além da baixa reatividade, há
27 também o fato da elevada macroporosidade e baixa microporosidade nos solos arenosos; isso
28 em razão do diâmetro das partículas de quartzo (Brady & Weil, 2013). Assim, há condições
29 favoráveis para rápida drenagem e baixo armazenamento hídrico. Fatores que convergem para
30 o agravamento de riscos agrícolas quando em períodos de estiagem.

31 Por outro lado, Suzuki et al (2019) discutem que a fraca agregação e a elevada
32 macroporosidade nos solos arenosos, constituem um fator compensador ao sistema radicular.
33 Pois, tais aspectos constituem em fatores favoráveis para o enraizamento profundo das culturas,
34 o que, portanto, aumentaria a lâmina de água disponível para as plantas.

1 A respeito da fraca agregação dos solos arenosos, isto evidencia a razão do maior
2 problema enfrentado por estes solos: a erosão. A baixa, ou quase nula coesão das partículas de
3 areia impõe a rápida desagregação, facilitando o arraste das partículas, ocasionando com isso,
4 erosões, e até certos casos, voçorocas (Albuquerque et al., 2015).

5 No que concerne aos atributos biológicos, tem-se os menores teores e acúmulo de
6 matéria orgânica pelos solos arenosos, comparativamente com os solos argilosos. Solos
7 argilosos por possuírem a presença de minerais de óxidos de ferro e hidróxidos de alumínio,
8 estes então conferem mecanismos de proteção a matéria orgânica, a citar, processos de proteção
9 física, estabilização química e recalcitrância bioquímica (Jastrow, 1996). O que propicia o
10 maior acúmulo de matéria orgânica nestes solos. Já em solos arenosos, a baixa reatividade
11 permite, no máximo, mecanismos de proteção físicas, e, mesmo assim, quando na ausência de
12 revolvimento do solo (Da Ros et al., 1997).

13 Essa diferença nos teores e na taxa de acúmulo de carbono entre solos argilosos e
14 arenosos, foi abordada por Cerri et al (2011). Os autores discutiram que, mesmo com o fim da
15 queima da cana-de-açúcar para colheita, as taxas acúmulo de carbono ao longo do tempo, são
16 menores para os solos arenosos devido ausências de mecanismos de proteção a fração orgânica,
17 presentes em solos argilosos.

18 Nesse contexto, face a discussão das limitações impostas pelos solos arenosos para
19 a produção agrícola, Murphy (2015), Donagemma et al (2016), Reichert et al (2016) e Yost e
20 Hartemink (2019), abordam que práticas de adição e manutenção de matéria orgânica são
21 essenciais para se elevar o potencial e mitigar os riscos a produção agrícola nos solos arenosos.
22 São apontadas alternativas idênticas aos princípios do sistema de semeadura direta: da presença
23 de rotação de cultura, cobertura permanente e revolvimento mínimo do solo.

24 Assim, a vigência destes princípios nas áreas agrícolas sob solos arenosos, tende a
25 atenuar a perda de matéria orgânica e a formação dos processos erosivos (Albuquerque et al.,
26 2015). Consequentemente, minimizando a degradação e melhorando o solo para o cultivo das
27 culturas.

28 Outro aspecto a ser abordado, refere-se que as atribuições da literatura quanto a
29 essencialidade da adição e manutenção da matéria orgânica em solos arenosos se dá em razão
30 das características da fração orgânica. A matéria orgânica possui uma ASE em torno de 700 a
31 800 m² g⁻¹, ponto de carga zero (PCZ) < 3,00 e inúmeros grupos funcionais, a citar, como
32 grupos carboxílicos (R-COOH), enólicos (R-CH=CH-OH), fenólicos (Ar-OH), álcoois (R-
33 CH₂-OH) e quinonas (R=O) (Aleoni et al., 2016; Dick et al., 2016), que garantem elevada

1 reatividade a fração orgânica, e, desta forma, uma forte interação com os atributos químicos,
2 físicos e biológicos do solo.

3 Pesquisas de Reichert et al (2016) e Ramos et al (2018) concluíram que o aumento
4 da CTC em solos arenosos e de textura média, está correlacionado positivamente com os teores
5 de matéria orgânica. Da mesma forma, Costa et al (2020) em estudo com solos provenientes do
6 Arenito Caiuá, concluíram que a matéria orgânica contribui de 32 a 84 % para CTC potencial
7 e de 24 a 67 % para CTC efetiva destes solos arenosos.

8 Dessa maneira, tais resultados apontam melhorias a reatividade, e
9 consequentemente, a fertilidade e a nutrição das culturas em solos arenosos. Pois, ao considerar
10 que o aumento da CTC infere em maior retenção de cátions básicos, e, portanto, redução na
11 perda de nutrientes, observa-se que o aumento da matéria orgânica é fundamental para as
12 culturas em solos arenosos.

13 Estes aumentos nos teores de matéria orgânica, com reflexos positivos a CTC, se
14 refletem também em aumentos nos estoques de carbono em solos arenosos. Tenelli et al (2019)
15 verificaram que o uso de adubos verdes, junto a prática de plantio direto na cana-de-açúcar,
16 contribuiu para os maiores estoques de carbono, em relação ao sistema convencional de plantio.
17 Este maior acúmulo de matéria orgânica, pode desempenhar também, um papel adicional no
18 fornecimento de N, P, S e micronutrientes (B, Fe, Cu, Co, Zn, Mn, Mo). O processo de
19 decomposição e mineralização liberam tais elementos ao longo do tempo (Pereira et al., 2016),
20 beneficiando assim, as culturas, e minimizando os riscos de deficiências nutricionais.

21 Sobre os efeitos da matéria orgânicas nos atributos físicos de solos arenosos Da Ros
22 et al (1997) e Reichert et al (2016) constataram que a partir de ações de manejo que preconizam
23 o uso de plantas de cobertura e minimizam o revolvimento do solo, estes melhoraram a
24 agregação do solo. Também, abordam que o aumento da matéria orgânica pode trazer melhorias
25 para estrutura do solo, como na maior porosidade e menor compactação.

26 Os autores atribuem estes efeitos positivos a um conjunto de fatores que se
27 estendem desde o sistema radicular dos adubos verdes, pelo não revolvimento, até a presença
28 de cobertura morta na superfície do solo. Quanto ao sistema radicular, sua influência tange a
29 pressão mecânica que exerce, aproximando as partículas das outras. Além disso, a liberação de
30 exsudados pelas raízes agem como agentes cimentantes, que intensificam a aglutinação das
31 partículas (Morel et al., 1991; Bissonnais et al., 2018). Consequentemente, o que denota em
32 aumento do diâmetro e estabilidade dos agregados.

33 O não revolvimento do solo por sua vez, garante que os agregados não sejam
34 fracionados. Dessa maneira, protegendo a matéria orgânica de processo oxidativos e

1 preservando os agentes cimentantes; mantenedores a estabilidade dos agregados. Da Ros et al
2 (1997), concluíram que a estabilidade de agregados é inversamente proporcional ao número de
3 revolvimento que as áreas agrícolas são expostas.

4 A presença da cobertura morta sobre a superfície do solo, advinda do uso de adubos
5 verdes, incide então, na proteção do solo contra o impacto da gota de chuva; o que minimiza,
6 um dos fatores do processo de formação de erosão (Martins Filho et al., 2009). Também, a
7 presença dessa massa vegetal na superfície colabora para dissipação da energia de pressão,
8 exercida pelos rodados de maquinários agrícolas, concorrendo para prevenção da compactação
9 (Braidá et al., 2006).

10 Sobre a interação da fração orgânica e a fração mineral dos solos arenosos, esta
11 interação possui efeitos sobre a diminuição da compactação do solo. Braidá et al (2006)
12 discutem que, dada eleva ASE da matéria orgânica, muito maior que a ASE dos solos arenosos,
13 isto converge para uma maior interação: matéria orgânica e água. Por conseguinte, a matéria
14 orgânica por reter mais água em seus constituintes, diminui a taxa de lubrificação das partículas
15 de areia. Assim, o que reduz o deslizamento entre partículas e um novo rearranjo das partículas
16 nos espaços vazios do solo; o que competiria para o aumento da compactação.

17 Além disso, está maior retenção de água pela matéria orgânica, tende elevar a
18 condições de friabilidade do solo, ou seja, a matéria orgânica possui influência na consistência
19 do solo. Nesse sentido, solos com maiores teores de matéria orgânica proporcionam melhores
20 condições físicas para as operações agrícolas, não comprometendo seus atributos físicos
21 (Vasconcellos et al., 2012).

22 Para mais, a ligação entre partículas orgânicas e minerais, aumenta o coeficiente de
23 elasticidade do solo. Em função da elevada elasticidade da matéria orgânica – e da ligação entre
24 partículas orgânicas e minerais, quando cessada a força de pressão exercida no solo, por
25 exemplo, pelo tráfego, as partículas orgânicas tendem a retornar ao seu estado original, com
26 isso, arrastando consigo as partículas minerais. Logo, restituindo os espaços vazios do solo e,
27 minimizando a compactação (Braidá et al. 2008).

28 Portanto, observa-se que a literatura demonstra os benefícios da matéria orgânica
29 para os solos arenosos. Sendo assim, o que sugere que o manejo do solo para cultura da cana-
30 de-açúcar, cultivada sob solos arenosos (Trindade & Castro, 2015; Oliveira et al., 2018), deve
31 ser direcionado para práticas de adubação de verde e, com mínimo de revolvimento possível. E
32 que tais ações de manejo, sejam desempenhadas no período de reforma. Período este, de
33 maiores intervenções aos atributos solo nesta cultura semi-perene (Gonçalves, 2006).

2.3 ADUBAÇÃO VERDE

2.3.1 Conceitos, manejo e influência a produtividade agrícola

A adubação verde é uma prática de manejo que consiste na utilização de plantas para fins de cobertura do solo e adição de matéria orgânica em períodos entressafra ou reforma de canaviais (Souza et al., 2012). Autores como Lima Filho et al (2014) discorrem que o uso de adubos verdes também pode ser denominado como o emprego de culturas de cobertura. De acordo com estes autores, mesmo que adubação verde não tenha o objetivo de gerar ganhos financeiros como as culturas comerciais, estes proporcionam retorno econômico em função das melhorias as propriedades do solo. Dessa forma, o que reflete em redução de custos e aumento da margem de lucro.

Um aspecto relevante concerne da definição técnica dos termos: adubação verde, rotação de culturas e consorciação. Apesar de tratados como sinônimos, conceitualmente são diferentes. A adubação verde corresponde ao uso de plantas para fins de formação de cobertura morta ou palhada. Já a rotação de cultura, consiste em alternar a semeadura de diferentes culturas em um mesmo talhão, em que a semeadura de certa cultura só irá se repetir na mesma área após 3 anos (Derpersch, 1985). Quanto à consorciação, refere-se a prática do desenvolvimento simultâneo de duas culturas no mesmo local; a exemplo do consórcio entre milho+braquiária e café+feijão-de-porco (Nolla et al., 1999; Partelli et al, 2011). No presente estudo, o termo utilizado será adubação verde.

As plantas utilizadas como adubos verdes, possuem como características: i) ser resistentes as adversidades climáticas; ii) sistema radicular vigoroso e profundo; iii) crescimento rápido e intenso acúmulo de massa vegetal num curto espaço de tempo; iv) não ser hospedeira de pragas e doenças e não fornecer riscos de ser tornar planta invasora (Silveira & Stone, 2010). No Brasil, as espécies mais utilizadas como adubos verdes são: na primavera/verão, mucunas, feijão-de-porco, feijão-guandu, crotalárias, lab-lab e caupi; no outono/inverno, aveias, azevém, nabo-forrageiro, tremoços, chícharo, ervilhacas e serradela (Souza et al., 2012).

Além destas características, é importante o conhecimento das condições edafoclimáticas do local onde será realizada tal prática. Pois, conforme Lemos Filho et al. (2014), mesmo que as plantas de adubos verdes sejam mais rústicas que as culturas comerciais, elas também possuem limitações aos altos teores de Al^{3+} e a longos períodos de déficit hídrico.

1 Nesse contexto, Pinto e Crestano (1998), concluíram a necessidade de ser classificar os adubos
2 verdes em três grupos: muito rústicos, rústicos e exigentes.

3 Outro ponto ligado ao manejo da adubação verde, tange a época de corte destas
4 plantas. Isso porque, a formação da cobertura vegetal aliada a elevadas taxas de decomposição
5 e mineralização dependem da constituição bioquímica e estrutural das plantas no momento do
6 corte (Miyazawa et al., 1993). Calegari (1998) enfatiza que o corte, ou, acamamento dos adubos
7 verdes deve ser realizado quanto 50% da área estiver próxima a floração. Em virtude desta fase
8 se caracterizar com maiores taxas de N na planta, isto reduz a relação C:N da cobertura vegetal.
9 Sendo assim, o que significa taxas mais elevadas de decomposição e mineralização. Por
10 conseguinte, beneficiando o fornecimento de nutrientes a cultura comercial.

11 Em diversas culturas a prática da adubação verde é executada com o propósito de
12 alavancar a produtividade, como na cana-de-açúcar. Bolonhezi e Gonçalves (2015) citam
13 trabalhos de Souza (1953) e Cardoso (1956), em que estes autores alcançaram em média 14
14 toneladas de colmos por hectare (TCH) a mais, com uso da *Crotalária juncea* (*Crotalaria*
15 *juncea*) e lab-lab (*Dolichos lablab*).

16 Tais resultados continuam a se confirmados. Duarte Júnior e Coelho (2008), em
17 experimento sob uso de crotalária juncea, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-
18 preta (*Stizolobium aterrimum*), concluíram que a prática do plantio direto junto adubação verde,
19 possibilitou ganhos de até 35 ton h⁻¹. Da mesma forma, Miranda et al. (2010), alcançaram
20 resultados semelhantes em ganhos de produtividade com uso da *Crotalária juncea*. No entanto,
21 ressaltaram que o uso de adubos orgânicos, como a torta filtro, somada adubação verde, foi um
22 dos fatores para aumento da produtividade.

23 Por sua vez, Ambrosano et al. (2013) concluíram após três safras, que nas áreas de
24 reforma de canal onde foi utilizada mucuna-preta, houve incrementos a produtividade.
25 Contudo, analisando os dados de variação de produtividade e ganhos financeiros ao longo dos
26 três cortes, a *Crotalária juncea* se mostrou como a melhor opção.

27 Na Austrália, após 25 anos de estagnação na produtividade canavieira, o que ficou
28 conhecido como “*Sugarcane Yield Decline Joint Venture*”, as instituições de pesquisa
29 concluíram que a prática do monocultivo e da falta de rotação de culturas e uso de adubos
30 verdes (Pankhust, 2005) se constituíam das causas do problema. Dessa forma, a preconização
31 do uso de adubos verdes somadas das práticas conservação do solo e controle tráfego,
32 possibilitaram o retorno do ganho de produtividade (Bell et al., 2007).

33 Também, de igual modo na cana-de-açúcar, a adubação verde proporciona
34 incrementos de produtividade em outras culturas. Rosa et al. (2011), verificaram que após o uso

1 de leguminosas (mucuna-preta e feijão-guandu) ocorreram acréscimos de 5% na produtividade
2 do milho. Já Lázaro et al. (2013), obtiveram aumentos de até 30% na mesma cultura, em áreas
3 semeadas sob nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) e aveia-preta (*Avena strigosa*), comparada as
4 áreas de pousio.

5 Em culturas perenes, como café e eucalipto, a adubação verde tem-se mostrado
6 como alternativa na supressão de plantas daninhas. Santos et al. (2008) e Partelli (2010)
7 discorrem que cobertura morta impedem que raios de luz cheguem até o solo, o que dessa forma,
8 impede sinalizadores fisiológicos de atuar no processo de germinação das plantas daninhas. Por
9 consequência, há redução na incidência de plantas invasoras, diminuindo a competição por água
10 e nutrientes com as culturas comerciais.

11

12 **2.3.2 Efeitos dos adubos verdes nas propriedades do solo**

13

14 Os benefícios às propriedades solo em função do uso de adubos verdes, em vistas
15 das discussões da literatura, tem-se positivos para os atributos físicos, químicos e biológicos.
16 Por outro lado, há também conclusões de ausência de efeitos aos atributos do solo.

17 Calegari et al. (1998) aponta que as principais vantagens sejam o aumento da
18 atividade biológica, assim como, nos teores de soma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$), neutralização
19 da acidez (íons H^{+} e Al^{3+}) e melhora nas taxas de infiltração de água e agregação do solo. Por
20 sua vez, Lima Filho et al. (2014) discorrem que talvez, o principal benefício no uso de adubos
21 verdes esteja no fato desta prática prevenir a formação de processos erosivo.

22 Essas melhorias nas propriedades do solo advêm das características dos adubos
23 verdes e do manejo empregado às estas. Em primeiro lugar, considera-se o fato destas plantas
24 possuírem um sistema radicular vigoroso e profundo, e assim, proporcionarem efeitos as
25 propriedades biológicas e físicas do solo (Müller et al., 2001; Souza et al, 2012). Através da
26 liberação de compostos orgânicos – como polissacarídeos, ácidos orgânicos e mucilagens, e
27 inorgânicos – como a liberação de íons H^{+} e OH^{-} , as raízes tendem a estimular a microbiota
28 (Fageria & Stone, 2006). Com a constante liberação destes exsudatos, há um fornecimento
29 contínuo de substrato aos micro-organismos, o que permite aumento da população e diversidade
30 microbiológica; bem como, na produção de compostos orgânicos por estes micro-organismos
31 (Castro & Andreote, 2016).

32 Ademais, o crescimento das raízes proporciona uma pressão mecânica no solo
33 (Cury et al., 2014), gerando a aproximação entre as partículas do solo, que, conseqüentemente
34 pode contribuir para o aumento dos agregados. Além disso, as raízes mortas formam bioporos

1 que colaboram para difusão de O₂ e o fluxo de água no solo (Silveira & Stone, 2010). De outro
2 modo, quando na permanência dos resíduos vegetais destas plantas na superfície do solo, isto
3 além de proteger o solo contra o impacto da gota, também estimula a microbiota e eleva os
4 teores de carbono orgânico e nutrientes pela decomposição da palhada (Machado et al., 2016).

5 Assim, relacionado em conjunto os efeitos do sistema radicular somado aos
6 benefícios da cobertura vegetal formada pelo adubo verde, tem-se um cenário favorável à
7 agregação do solo.

8 As substâncias húmicas e os cátions polivalentes (ex. Ca²⁺ e Mg²⁺) gerados a partir
9 da decomposição e mineralização da matéria orgânica produzida pelas raízes e cobertura
10 vegetal podem favorecer a interação argila-argila e argila-húmus. Por conseguinte, elevando a
11 associação – ou aglutinação, das partículas de argila, influenciando positivamente a formação
12 de microagregados.

13 Subsequente a este processo, a liberação de compostos orgânicos pelo sistema
14 radicular e pela atividade microbiana (fungos e bactérias) aumenta a concentração de
15 polissacarídeos e ceras que colaboram para floculação de microagregados. Além do mais, as
16 secreções bacterianas, como gomas adesivas, e as hifas fúngicas – como as micorrizas, também
17 contribuem para formação dos macroagregados, ou seja, na aglutinação de microagregados
18 (Mendes et al., 2003).

19 Especificamente sobre os fungos micorrizicos, estes possuem a capacidade de
20 produzir glomalina, compostos proteico com alta capacidade de agregação, o que se torna
21 benéfico no processo de agregação e estabilização de agregados no solo (Brady; Weil, 2013).
22 Nesse sentido, os compostos gerados pelos adubos verdes influem diretamente sobre estes
23 processos de agregação. Sendo assim, como enfatizado por Calegari et al. (1998; 2006) a
24 adubação verde, tende a melhorar agregação do solo.

25 Em estudo sob Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arenosos, Wohlenberg et al.
26 (2004), verificaram que o manejo do sistema de semeadura direta (SSD) junto a rotação de
27 culturas (RTC) e uso de adubos verdes (Aveia-preta – *Avena strigosa*; feijão-de-porco –
28 *Canavalia ensiformis*; e nabo forrageiro – *Raphanus sativus*) propiciaram os melhores
29 resultados para agregação do solo, em relação do SSD sob sucessão soja/milho. Concluíram
30 ainda que o aporte de matéria orgânica pelos adubos verdes foi um dos fatores determinantes
31 para estes resultados. Da mesma forma, Calegari et al (2013), em experimento de longa duração
32 (> 15 anos) em Latossolo Vermelho argiloso, ao comparar o SSD em RTC com adubos verdes
33 versus sistema convencional (SCV), observaram melhorias a agregação em função do
34 SSD+RTC com adubos verdes.

1 Não somente na agregação do solo os adubos verdes têm efeitos, mas também na
2 descompactação do solo. Em experimento sob condições controladas, Muller et al., (2001)
3 concluíram que o nabo forrageiro e a aveia preta foram as melhores dentre as espécies estudadas
4 (Ervilhaca, Nabo-forrageiro, Tremoço-branco, Aveia-preta e Aveia-branca) na descompactação
5 do solo.

6 Nicoloso et al. (2008), em pesquisas testando a associação do uso de subsoladores
7 e escarificadores junto ao uso de aveia-preta e nabo-forrageiro, constaram que a associação da
8 escarificação mecânica seguida de escarificação biológica é que apresenta os melhores
9 resultados no aumento da macroporosidade e redução da resistência a penetração. Ademais,
10 enfatizam que tais efeitos são mais persistentes ao longo do tempo, comparada apenas a
11 operação mecânica. Também Jimenez et al. (2012) ressaltaram o emprego da adubação verde
12 como estratégia para descompactação do solo. Os autores verificaram que o uso do Milheto
13 (*Pennisetum glaucum*) foi eficiente na abertura de fendas no solo, retratadas pelo maior volume
14 de raízes encontradas nas zonas compactadas.

15 Quanto as propriedades químicas, Almeida et al (2008) em SSD observaram que o
16 uso de milheto, crotalária juncea, feijão-guandu e mucuna preta, possibilitaram a neutralização
17 da acidez ativa (pH) e trocável (Al^{3+}), assim como, elevação nos teores de carbono orgânico.
18 Da mesma forma, Lima Filho et al. (2014) expõe que além de aumentar o pH os adubos verdes,
19 contribuem para elevação da Soma de Bases ($Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^{+}$).

20 Em cana-de-açúcar, Duarte Júnior e Coelho (2008) observaram que o plantio direto
21 da cultura realizado sob crotalária juncea, feijão-guandu e mucuna-preta, contribuiu para os
22 melhores resultados de absorção de nutrientes, em relação ao plantio da cultura realizado na
23 ausência de adubos verdes. Possivelmente, a mineralização de nutrientes pela palhada dos
24 adubos verde tenha influenciado diretamente nestes resultados.

25 Já Ambrosano et al. (2009) em pesquisas comparando absorção de nitrogênio, pela
26 associação ou não, de adubos nitrogenados minerais a prática da adubação verde (*Crotalária*
27 *juncea*) em cana-de-açúcar concluíram que uso, adubação mineral + adubo verde, foi o qual
28 permitiu as maiores absorções de N pela cultura. Além disso, a adubação verde acarretou
29 aumentos à saturação por bases e neutralização de Al^{3+} .

30 Para as propriedades biológicas, Resende et al. (2003) em Argissolo Vermelho-
31 Amarelo, arenoso, cultivado com cana-de-açúcar sob uso de crotalária juncea e mucuna-preta,
32 verificaram aumentos nos teores de nitrogênio total (NT), em comparação as áreas sem adubos
33 verdes. Na cultura do milho, Silva et al. (2007), concluíram que a semeadura da cultura sobre
34 as coberturas de braquiária (*Braquiária decumbens*) e feijão-guandu, aumentaram os teores de

1 carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qMIC); indicando uma maior
2 eficiência da microbiota em converter C em C microbiano. Igualmente, na cultura da mandioca,
3 Mercanto et al. (2008), também obtiveram elevação do CBM e qMIC. Já Rosa et al. (2017),
4 concluíram acréscimos na quantidade de substância húmicas em áreas de SSD junto prática da
5 RTC somada a adubação verde (*crotalaria juncea*, feijão-guandu e mucuna-preta), em relação
6 as áreas de SSD ausente de RTC e adubos verdes.

7 E, em pesquisa sobre a influência da composição bioquímica de exsudatos de
8 resíduos vegetais na agregação do solo, Martes (2000) concluiu que os compostos orgânicos
9 provenientes de resíduos vegetais de maior relação C:N (>30) (como a alfafa e o milho) foram
10 os mais eficientes na agregação do solo. Segundo o autor, a maior presença de compostos
11 fenólicos em resíduos de alta relação C:N (e.g., palhada de cana-de-açúcar (Ramos et al.,
12 2016)), tende a elevar a agregação do solo em virtude destes compostos serem mais complexos e
13 estáveis.

14 Contudo, explica que resíduos de menores relações C:N, possuem um efeito mais
15 rápido e passageiro na agregação do solo (e.g., resíduos da soja). Por outro lado, resíduos de
16 alta relação C:N, precisam de elevado espaço de tempo para proporcionar efeitos a agregação,
17 porém, seus efeitos são mais intensos e por isso, o que garante maior estabilidade dos agregados.

18

19 **2.4 SISTEMAS DE REFORMA CANAVIEIRO**

20

21 O período de reforma dos canaviais é considerado a operação de maior importância
22 para a cultura da cana-de-açúcar. Devido este período constituir a fase mais onerosa e possuir
23 relação direta com a produtividade ao longo dos ciclos de colheita, a escolha do sistema de
24 reforma é fundamental para obtenção bons resultados de produtividade e rentabilidade
25 econômica (Ripoli & Ripoli, 2004; Barbosa, 2013).

26 Isso porque, diferentes das culturas anuais, por exemplo, as maiores intervenções
27 as propriedades físicas, químicas e biológicas nas áreas canavieiras ocorrem somente na época
28 de reforma; ou seja, a cada cinco ou mais anos (Santorino et al., 2010). A execução das
29 operações de reforma antes de período, tende a representar prejuízos financeiros as usinas.

30 Segundo a Conab (2020), nas últimas 14 safras a área destinada para reforma mais
31 que dobrou, passando de 500.000 para 1.200.000 hectares. Números relacionados tanto em
32 função da expansão do setor nas últimas duas décadas como também, da exigência da
33 substituição de canaviais de baixa produtividade; isto é, menores que 50 ton colmos ha⁻¹.

1 Atualmente três sistemas de reforma são utilizados: o convencional, com adubos
2 verdes e os sistemas com uso de culturas comerciais; como a soja e o amendoim (Bolonhezi e
3 Gonçalves, 2015). O sistema convencional caracteriza-se pelas inúmeras operações de
4 revolvimento, sendo plantio realizado sob solo descoberto. As principais vantagens deste
5 sistema concernem ao controle de pragas e planta infestantes. Contudo, é o sistema de reforma
6 que mais colabora processo de erosão e perda de matéria orgânica do solo (Gonçalves, 2006;
7 Martins Filho et al., 2009).

8 A respeito do sistema de reforma com adubos verdes, este consiste na utilização de
9 plantas de cobertura, após a dessecação da cana-de-açúcar; sendo a semeadura realizada a lanço
10 e posteriormente incorporada com uma grade niveladora. Após, o plantio da cana-de-açúcar é
11 executado sobre a massa verde das plantas de cobertura, em modo plantio direto (Coleti, 2010).
12 As vantagens deste sistema são atribuídas a minimização do processo de erosão, bem como, da
13 manutenção, e, ou, adição, de matéria orgânica no solo (Santorino, 2010).

14 Já os sistemas com uso de culturas econômicas (e.g., soja e amendoim), também
15 denominados de sistemas de “rotação econômica”, conforme Coleti (2010), possuem por
16 fundamento o ganho econômico direto pela comercialização da cultura, ou, por meio de
17 arredamentos. Atualmente, a cultura da soja por atender tais aspectos, tem substituído os
18 sistemas de reforma convencional e com adubos verdes (Bolonhezi & Gonçalves, 2015).

19 Face a este contexto, recentemente a literatura tem demonstrado estudos sobre os
20 diferentes sistemas de reforma, o que exhibe a relevância desta temática. Em solos com menos
21 de 40 % de argila, Barbosa et al (2019) concluíram que os efeitos nos atributos físicos do solo
22 após quatro ciclos, foram semelhantes entre o sistema de reforma convencional e com adubos
23 verdes. Da mesma forma, Awe et al. (2020) verificaram que o sistema convencional denotou
24 em efeitos semelhantes aos sistemas com menor número de operações, como plantio direto e
25 reduzido.

26 De outro modo, Guimarães Júnior et al (2019a) e Scarpate et al (2019) observaram
27 que o sistema convencional de reforma intensifica a degradação dos atributos do solo. As
28 inúmeras operações de revolvimento do solo no sistema convencional, eleva o grau de
29 desagregação, o que então converge para um efeito adicional de compactação (Guimarães
30 Júnior et al., 2019). Já Scarpate et al (2019) apontaram que o sistema de reforma convencional
31 colabora para o baixo desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, o que então, poderia afetar
32 a sua produtividade.

33 Além disso, Tenelli et al (2019) concluíram que uso do sistema de reforma
34 convencional incidi em uma baixa manutenção dos teores de carbono no solo, quando

1 comparados com aqueles com adubos verdes. Outro aspecto abordado sobre os impactos do
2 sistema convencional é que este denota em maiores emissões de CO₂ (Moitinho et al., 2013;
3 Souza et al., 2019). Portanto, indicando deterioração da matéria orgânica do solo.

4 No que concerne ao uso de culturas comerciais no período de reforma, Guimarães
5 Júnior et al (2019b) ao estudarem o efeito da utilização da cultura do amendoim neste período,
6 em solo arenoso, concluíram que a rotação econômica denotou em impactos negativos aos
7 atributos do solo. As operações de colheita da cultura comercial representam um tráfego
8 adicional nas áreas destinadas para o plantio da cana-de-açúcar. Sendo assim, o que tende a
9 prejudicar a exploração da cultura principal: a cana-de-açúcar.

10 Quanto a utilização da soja, estudos sob Latossolos argilosos concluíram que a
11 oleaginosa em comparação com o milho e a *Crotalaria juncea*, inferiu em maior degradação
12 dos agregados do solo (Fernandez et al., 2012; Silva & Fernandez, 2014). No entanto, em solos
13 arenosos, a comparação entre os sistemas de reforma com soja e outros sistemas de reforma,
14 ainda são escassos.

15 Nesse sentido, observa-se a importância de estudos direcionados sobre esta
16 temática: a de verificar os efeitos nos atributos do solo, sobretudo arenosos, do uso de diferentes
17 sistemas de reforma; convencional *versus* adubos verdes *versus* soja. Além disso, o que
18 demonstra uma lacuna ainda ser explorada pela pesquisa. Por hipótese, posto os benefícios da
19 matéria orgânica no solo, retratados nos itens 2 e 3 desta revisão, os sistemas de reforma com
20 adubos verdes, incitariam nas maiores melhorias nos atributos de solos arenosos, em
21 comparação com sistemas de reforma, convencional ou com culturas comerciais.

22 Ademais as conclusões destes estudos poderiam então, convergir em alternativas
23 para o aumento da produtividade canavieira em solos mais restritivos, como os solos arenosos.
24 Dessa forma, atenuando a necessidade de um novo ciclo de expansão, ou de competição por
25 áreas agrícolas com outras culturas. Assim, assegurando a produção de biocombustíveis,
26 energia e açúcar de acordo com atual crescente demanda por estes produtos (Andrade Júnior et
27 al., 2019; Hughes et al., 2020).

29 **2.5 REFERÊNCIAS: INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA**

30
31 Albuquerque, J. A., Almeida, J. A., Gatiboni, L. C., Rovedder, A. P., Costa, F. S. (2015).
32 Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil.
33 In: Castro, S.S., Hernani, L.C. (Ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e**
34 **sustentabilidade**. 1ed.Brasília: Embrapa, v. 1, p. 25-50.

- 1 Alleoni, L.R.F., Mello, J.W.V., Rocha, W.S.D. 2015. Eletroquímica, adsorção e troca iônica,
2 in: Alleoni, L.R.F., Mello, V.F. (Eds). **Química e mineralogia do solo – parte 2: aplicações**.
3 Viçosa, SBCS, pp.70–122.
4
- 5 Almeida, V. P.; Alves, M. C.; Silva, E. C.; Oliveira, S. A. (2008). Rotação de culturas e
6 propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional
7 e semeadura direta em adoção. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.32, n.3. pp.1227-1237.
8 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300031>.
9
- 10 Ambrosano, E. J., Azcón, R., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammas, E. A.,
11 Muraoka, T., Trivelin, P. C. O., Rossi, F. G., Nivaldo, U., Gonçalves, M. R., Teramoto, J. R. S.
12 (2010). Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield.
13 **Scientia Agricola**, 67(6), 692-701. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000600011>
14
- 15 Ambrosano, E. J., Azcón, R., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammas, E. A.,
16 Muraoka, T., Trivelin, P. C. O., Rossi, F. G., Nivaldo, U., Gonçalves, M. R., Teramoto, J. R. S.
17 Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. (2013). **Scientia**
18 **Agricola**, 66(3), 386-394. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000300014>
19
- 20 Andrade Junior, M. A. U., Valin, H., Soterroni, A. C., Ramos, F. M., Halog, A. (2019).
21 Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications, **Energy**
22 **Policy**, Volume 134. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110958>
23
- 24 Awe, G. O., Reichert, J. M., Fontanela, E. (2020). Sugarcane production in the subtropics:
25 Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage,
26 **Soil and Tillage Research**, Volume 196. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104447>.
27
- 28 Barbosa, L. C., Magalhães, P. S. G., Bordonal, R. O., Cherubin, M. R., Castioni, G. A. F.,
29 Tenelli, S., Franco, H. C. J., Carvalho, J. L. N. (2019). Soil physical quality associated with
30 tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.
31 195, p. 104383. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>
32
- 33 Barbosa, V. F. A. M. (2011). Plantio. Santos, F. A., Borem, A., Caldas, C. S. **Cana de açúcar:**
34 **Bioenergia, açúcar e álcool - tecnologias e perspectivas**. 1. ed. Visconde do Rio Branco:
35 Editora Suprema, v. 1, p. 51-71.
36
- 37 Bell. M. J., Stirling, G. R., Pankhurst, C. E. (2007). Management impacts on health of soils
38 supporting Australian grain and sugarcane industries. **Soil & Tillage Research** 97 256–271.
39 <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.013>
40
- 41 Bernardo, R., Lourenzani, W. L., Satolo, E. G., & Caldas, M. M. (2019). Analysis of the
42 agricultural productivity of the sugarcane crop in regions of new agricultural expansions of
43 sugarcane. **Gestão & Produção**, 26(3), e3554. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3554-19>
44

- 1 Bissonnais, Y., Prieto, I., Roumet, C. et al. (2018). Soil aggregate stability in Mediterranean
2 and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. **Plant Soil** 424, 303–
3 317. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3423-6>
4
- 5 Bolonhezi, D., Goncalves., N. H. (2015). Sucessão e Rotação de Culturas na Produção de Cana-
6 de-Açúcar. In: Belardo, G. C., Cassia, M. T., Silva, R. P. (Org.). **Processos Agrícolas e**
7 **Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1ed. Jaboticabal: SBEA - Sociedade Brasileira de
8 Engenharia Agrícola. v. 1, p. 219-242.
9
- 10 Brady, N.C., Weil, R.R. (2013). Cap. 4: arquitetura e propriedades físicas do solo. In:_____.
11 **Elementos da natureza e propriedades do solo**. Tradução: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto
12 Alegre: Bookman.
13
- 14 Braidá, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Sequinato, L. (2008). Elasticidade do solo em
15 função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,
16 32(2), 477-485. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200002>
17
- 18 Braidá, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Soares, J. M. D. (2007). Coesão e atrito interno
19 associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso. **Ciência Rural**,
20 37(6), 1646-1653. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600022>
21
- 22 Braidá, J. A., Reichert, J. M., Veiga, M., Reinert, D. J. (2006). Resíduos vegetais na superfície
23 e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor.
24 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30(4), 605-614. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001)
25 [06832006000400001](https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001)
26
- 27 Calegari, A. (1998). Espécie para cobertura do solo. In: **Plantio direto: pequena propriedade**
28 **sustentável**. Londrina: Iapar, 1998, 225p.
29
- 30 Calegari, A., Castro Filho, C., Tavares Filho, J., Ralisch, R., Guimarães, M. F. (2006). Melhoria
31 da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Vol.27(2),
32 pp.147-158. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2006v27n2p147>
33
- 34 Calegari, A., Tourdonnet, S., Tessier, D., Rheinheimer, D. S., Ralisch, R., Hargrove, W.,
35 Guimarães, M. F., Tavares Filho, J. (2013). Influence of Soil Management and Crop Rotation
36 on Physical Properties in a Long-Term Experiment in Paraná, Brazil. **Communications in Soil**
37 **Science and Plant Analysis**, 44:13, 2019-2031.
38 <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2013.790406>
39
- 40 Camara, M. R. G., Caldarelli, C. E. (2016). Expansão canavieira e o uso da terra no estado de
41 São Paulo. **Estudos Avançados**, 30(88), 93-116. [https://dx.doi.org/10.1590/s0103-](https://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880008)
42 [40142016.30880008](https://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880008)
43

- 1 Castro, P. R. (2016). Origem e distribuição geográfica. In:_____. **Fisiologia Aplicada à**
2 **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: STAB, 2016. v. 1. p. 13-17.
3
- 4 Cerri, C.C., Galdos, M.V., Maia, S.M.F., Bernoux, M., Feigl, B.J., Powlson, D. and Cerri,
5 C.E.P. (2011). Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an
6 examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, 62: 23-28.
7 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>
- 8 Coleti, J. T. O preparo do solo sob a ótica conservacionista. (2010). In: Dinardo-Miranda, L.
9 L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. 1ed. Campinas:
10 Instituto Agrônômico de Campinas. v. 1, p. 573 – 583.
11
- 12 Coleti, J. T. O preparo do solo sob a ótica conservacionista. (2010). In: Dinardo-Miranda, L.
13 L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. 1ed. Campinas:
14 Instituto Agrônômico de Campinas. v. 1, p. 573 – 583.
15
- 16 CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Series históricas. Disponível em: <
17 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras> >. Acesso em 10 de
18 outubro de 2020.
19
- 20 Costa, A. C. S., Souza Junior, I. G., Canton, L. C., Gil, L. G., Figueiredo, R. (2020).
21 Contribution of the chemical and mineralogical properties of sandy-loam tropical soils to the
22 cation exchange capacity. **Rev Bras Cienc Solo**. pp. 1-18.
23 <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200019>
24
- 25 Jastrow, D. (1996). Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-
26 associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Volume 28, 4–5, 1996, 665-676.
27 [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00159-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00159-X).
28
- 29 Da Ros, C.O., Secco, D. Fiorin, J. E., Petrere, C., Cadore, M. A., Pasa, L. (1997). Manejo do
30 solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco
31 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.2, p.241-247.
32
- 33 Das K., Biswakarma N., Zhiipao R., Kumar A., Ghasal P.C., Pooniya V. (2020) Significance
34 and Management of Green Manures. In: Giri B., Varma A. (eds) **Soil Health. Soil Biology**, vol
35 59. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_12
36
- 37 Derpersch, R. **Adubação verde e rotação de culturas**. In: Encontro nacional de plantio direto,
38 3, Ponta Grossa, 1985. Anais... Ponta Grossa, [s. d.] p.85-104
39
- 40 Dick, D. P., Novotny, E., Diekow, J., Bayer, C. (2009). Química da Matéria Orgânica do Solo.
41 In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds). (Org.). **Química e Mineralogia do Solo: Parte II**
42 **- Aplicações**. 1ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 1-68.
43

- 1 Donagemma, G. K., Freitas, P. L., Balieiro, F. C., Fontana, A., Spera, S. T., Lumbreras, J. F.,
2 Viana, J. H. M., Araujo filho, J. C. de, Santos, F. C. dos, Albuquerque, M. R., Macedo, M. C.
3 M., Teixeira, P. C., Amaral, A. J., Bortolon, E., Bortolon, L. (2016). Caracterização, potencial
4 agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesq. agropec. bras.** vol.51, n.9,
5 pp.1003-1020. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001>.
6
- 7 Duarte Junior, J. E., Coelho, F. C. (2008). Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-
8 de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 723-732, 2008.
9 <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300022>.
10
- 11 Esteban, D.A.A., Souza, Z.M. de, Silva, R.B. da, Lima, E. de S., Lovera, L.H., Oliveira, I.N.
12 de (2020). Impact of permanent traffic lanes on the soil physical and mechanical properties in
13 mechanized sugarcane fields with the use of automatic steering. **Geoderma** 362, 114097.
14 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114097>.
15
- 16 Fernandes, C., Cora, J. E., Marcelo, A. V. (2012). Soil uses in the sugarcane fallow period to
17 improve chemical and physical properties of two latosols (oxisols). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
18 Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100029>.
19
- 20 Figueiredo, P. (2010). Breve história da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônômico no
21 seu estabelecimento no Brasil. In: Dinardo-Miranda, L. L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M.
22 G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. 1ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas. v. 1, p.
23 31-43.
24
- 25 Gonçalves, N. H. (2006). Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: Segato, S.
26 V., Pinto, A. S., Jendiroba, E., Nóbrega, J. C. M. (Org). **Atualização em produção de cana-
27 de-açúcar**. Piracicaba: CP2, p. 93-103.
28
- 29 Guimarães Júnnyor, W. S., Diserens, E., De Maria, I. C., Araújo Junior, C. F., Farhate, C. V.
30 V., Souza, Z. M. (2019). Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines
31 in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science Of The Total
32 Environment**, v. 681, p. 424-434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009>
33
- 34 Guimarães Júnnyor, W., Maria, I. C., Araujo-Junior, C. F., Lima, C. C., Vitti, A. C., Figueiredo,
35 G. C., Dechen, S. C. F. (2019). Soil compaction on traffic lane due to soil tillage and sugarcane
36 mechanical harvesting operations. **Scientia Agricola**, 76(6), 509-517.
37 <https://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0052>
38
- 39 Hughes, N., Mutran, V. M., Tomei, J., Ribeiro, C. O., Nascimento, C. A. O. (2020). Strength
40 in diversity? Past dynamics and future drivers affecting demand for sugar, ethanol, biogas and
41 bioelectricity from Brazil's sugarcane sector. **Biomass and Bioenergy**, Volume 141, 2020.
42 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105676>.
43

- 1 IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. BDiA, Banco de dados de informações
2 ambientais. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia> > [Acesso em
3 24 de julho de 2019].
4
- 5 Jimenez, R. L., Gonçalves, W. G., Araújo Filho, J. V., Assis, R. L., Pires, F. R., Silva, G. P.
6 (2008). Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um
7 Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12(2), 116-
8 121. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200002>
9
- 10 Landell, M. G. A., Bressiani, J. A. (2010). Melhoramento genético e manejo varietal. In:
11 Dinardo-Miranda, L. L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**.
12 1ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas. v. 1, p. 101-156
13
- 14 Lázaro, R. L., Costa, A. C. T., Silva, K. F., Sarto, M. V. M., Júnior, J. B. D. (2013).
15 Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. Produtividade de milho
16 cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 43(1), 10-17.
17 <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000100008>
18
- 19 Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F., Carlos, J. A. D. (2014). **Adubação verde e**
20 **plantas de cobertura no Brasil - fundamentos e prática**. vol. 1. 1. ed. Brasília: Embrapa,
21 507p.
22
- 23 Lima, M., Silva Junior, C. A., Pelissari, T. D., Lourençoni, T., Luz, I. M. S., Lopes, F. J. A.
24 (2020). Sugarcane: Brazilian public policies threaten the Amazon and Pantanal biomes.
25 **Perspectives in Ecology and Conservation**. Volume 18, 210-212.
26 <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.06.002>.
27
- 28 Liu, X., Herbert, S.J., Hashemi, A.M., Zhang, X., Ding, G., (2006). Effects of agricultural
29 management on soil organic matter and carbon transformation – a review. **Plant Soil Environ**.
30 52, 531–543. <https://doi.org/10.17221/3544-PSE>
31
- 32 Lumberras, J.F., Carvalho Filho, A., Motta, P.E.F., Barros, A.H.C., Aglio, M.L.D., Dart, R. O.,
33 Silveira, H.L.F., Quartaroli, C.F., Almeida, R.E.M., Freitas, P.L. (2015). **Aptidão agrícola das**
34 **terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 48p. il. color. (Embrapa Solos.
35 Documentos, 179).
36
- 37 Martens, D. A. (2000). Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon
38 sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, 2000, Vol.32(3), pp.361-369.
39 [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00162-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00162-5)
40
- 41 Martins Filho, M. V., Liccioti, T. T., Pereira, G. T., Marques Júnior, J., Sanchez, R. B. (2009).
42 Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar.
43 **Engenharia Agrícola**, 29(1), 8-18. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000100002>
44

- 1 Melander, I. A., Rasmussen, J. E., Olesen. (2020) Legacy effects of leguminous green manure
2 crops on the weed seed bank in organic crop rotations. **Agriculture, Ecosystems &**
3 **Environment**, volume 302. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107078>.
4
- 5 Mendes, I. C., Souza, L. V., Resck, D. V. S., Gomes, A. C. (2003). Propriedades biológicas em
6 agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado.
7 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(3), 435-443. [https://dx.doi.org/10.1590/S0100-](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300005)
8 [06832003000300005](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300005)
9
- 10 Meurer, J. E., Rheinheimer, R. D., Bissani, C. A (2013). Fenômenos de sorção em solos. In:
11 Meurer, J. E. **Fundamentos de química de solo**. 5ed. Porto Alegre, Evangraf. pp.113-154.
12
- 13 Miranda, J. M., Rigoni, M. V., & Silveira, F. T. (2011). Associação da crotalaria com adubação
14 orgânica e mineral na produtividade da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, 27(6).
15 <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/10056>
16
- 17 Miyazawa, M.; Pavan, M.A., Calegari, A. (1993). Efeito de material vegetal na acidez do solo.
18 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 17, p. 411-416, 1993.
19
- 20 Moitinho, M. R., Padovan, M. P., P., La Scala Jr, N. (2013). Efeito do preparo do solo e resíduo
21 da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,
22 37(6), 1720-1728. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600028>
23
- 24 Moraes, M. A. F. D., Bacchi, M. R. P., Caldarelli, C. E. (2016). Accelerated growth of the
25 sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000–2008): Effects on municipal gross
26 domestic product per capita in the south-central region, **Biomass and Bioenergy**, Volume 91,
27 pp. 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.004>.
28
- 29 Moraes E. R., Mageste J. G., Lana, R. M. Q., Torres, J. L. R., Domingues, L. A. S., Lemes, E.
30 M., Lima, L. C. (2019). Sugarcane root development and yield under different soil tillage
31 practices. **Rev Bras Cienc Solo**, 43. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180090>
32
- 33 Morel, J. L., Habib, L., Plantureux, S. et al (1991). Influence of maize root mucilage on soil
34 aggregate stability. **Plant Soil** 136, 111–119. <https://doi.org/10.1007/BF02465226>
35
- 36 Muller, M. M. L.; Ceccon, G.; Rosolem, C. A. (2001). Influência da compactação do solo em
37 subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno.
38 **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, Sept. 2001.
39 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300002>.
40
- 41 Murphy B. W. (2015) Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis
42 on Australian soils. **Soil Research** 53, 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
43

- 1 Nicoloso, R. S., Amado, T. J. C., Schneider, S., LanzaNova, M. E., Girardello, V. C.,
2 Bragagnolo, J. (2008). Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos
3 atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista**
4 **Brasileira de Ciência do Solo**, 32(4), 1723-1734. [https://dx.doi.org/10.1590/S0100-](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037)
5 [06832008000400037](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037)
6
- 7 Nolla, A. (1999). **Avaliação do consórcio milho, leguminosas, para adubação verde e**
8 **plantas espontâneas**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) –
9 Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
10
- 11 Oliveira, D. M. S., Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Santos, A. S., Gelain, J. G., Dias, N. M.
12 S., Diniz, T. R., Almeida, A. N., Feigl, B. J., Davies, C. A., Paustian, K., Karlen, D. L., Smith,
13 P., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P. (2019). Is the expansion of sugarcane over pasturelands a
14 sustainable strategy for Brazil's bioenergy industry? **Renewable & Sustainable Energy**
15 **Reviews**, v. 102, p. 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.012>
16
- 17 Oliveira, F. F., Salcedo, I. H., Galvão, Sandra R. S. (2011). Adubação orgânica e inorgânica de
18 batatinha em solos arenosos: produtividade, nutrientes na planta e lixiviação. **Revista**
19 **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(12), 1228-1234.
20 <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001200003>
21
- 22 Pankhurst, C. E., Stirling, G. R., Magarey, R. C., Blair, B. L., Holt, J. A., Bell, M. J., Garside,
23 A.L. (2005). Quantification of the effects of rotation breaks on soil biological properties and
24 their impact on yield decline in sugarcane. **Soil Biology and Biochemistry**, 2005, Vol.37(6),
25 pp.1121-1130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.011>
26
- 27 Partelli, F. L., Vieira, H. D., Freitas, S. P. E., Espindola, J. A. A. (2010). Aspectos
28 fitossociológicos e manejo de plantas espontâneas utilizando espécies de cobertura em cafeeiro
29 Conilon orgânico. **Semina**. Ciências Agrárias, v. 31, p. 605-618, DOI:
30 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n3p605>
31
- 32 Pereira, N. S., Soares, I., Miranda, F. R. (2016). Decomposition and nutrient release of
33 leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. **Ciência Rural**,
34 46(6), 970-975.. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140468>
35
- 36 Pinto, L. F. G., Crestana, S. (1998). Green manure viability use in the agroecosystem of the São
37 Carlos-SP region. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p. 329-336, 1998.
38 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000200019>.
39
- 40 Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil
41 functions: A review. **Geoderma**. Volume 314, 122-137.
42 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
43

- 1 Ramos, F. T., Dores, E. F. C., Weber, O. L. S., Beber, D. C., Campelo, J. H., Maia, J. C. S.
2 (2018). Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till
3 farming in Brazil. **J. Sci. Food Agric**, 98: 3595-3602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>
4
- 5 Reichert, J. M., Amado, T. J. C., Reinert, D. J., Rodrigues, M. F., Suzuki, L. E. A. S. (2016).
6 Land use effects on subtropical, sandy soil under sandyization/desertification processes.
7 **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 233, 370-380.
8 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.039>.
9
- 10 Reichert, J. M., Mentges, M. I., Rodrigues, M. F., Cavalli, J. P., Awe, G. O., Mentges, L. R.
11 (2018). Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry
12 organic matter, bulk density and moisture. **Catena**, 165, pp. 345-357,
13 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.014>
14
- 15 Reichert, J. M., Reinert, D. J., Braidá, J.A. (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade de
16 sistemas agrícolas. **R. Ci. Amb.**, 27:29-48.
17
- 18 Resende, A.S., Xavier, R.P., Quesada, D.M. (2003). Use of green manures in increasing inputs
19 of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biol Fertil Soils**. 37: 215. [https://doi-](https://doi.org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00374-003-0585-6)
20 [org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00374-003-0585-6](https://doi.org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00374-003-0585-6)
21
- 22 Rheinheimer, D. S., Tiecher, T., Gonzatto, R., Santanna, M. A., Brunetto, G., Silva, L.S.,
23 (2018b). Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural
24 grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South
25 Brazilian Campos. **Soil Till. Res.** 180, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.014>
26
- 27 Ripoli, T.C.C., Ripoli, M.L.C., Casagrandi, D., Ide, B. Y. (2005). **Plantio de Cana-de-Açúcar:**
28 **Estado da Arte**. 1. ed. Piracicaba: Barros & Marques Editoração Eletrônica, v. 1. 216p.
29
- 30 Rosa, D. M., Nóbrega, L. H. P., De Lima, G. P., Mauli, M. M. Desempenho da cultura do milho
31 implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto.
32 **Semina: Ciências Agrárias**, Out. 2011, Vol.32(4), pp.1287-1296. DOI:
33 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1287>
34
- 35 Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R.,
36 Almeida, J.A., Cunha, T.J.F., Oliveira, J.B. (2015). **Sistema Brasileiro de Classificação de**
37 **Solos**. 3ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa. 353p.
38
- 39 Santos, J. C. F., Marchi, G., Marchi, E. C. S. (2008). Cobertura do solo no controle de plantas
40 daninhas do café. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, (Serie Embrapa - Documento, 226).
41
- 42 Scarpare, F. V., Jong Van Lier, Q., Camargo, L., Pires, R. C. M., Correa, S. T. R., Bezerra, A.
43 H. F., Gava, G. J. C., Dias, C. T. S. (2020). Tillage effects on soil physical condition and root

- 1 growth associated with sugarcane water availability. **Soil & Tillage Research**, v. 187, p. 110-
2 118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>
3
- 4 Shikida, P. F. A., Souza, E. C. (2009). Agroindústria canavieira e crescimento econômico local.
5 **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 47(3), 569-600. [https://dx.doi.org/10.1590/S0103-](https://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032009000300002)
6 [20032009000300002](https://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032009000300002)
7
- 8 Silva, F.C., Marchiori, L.F.S., Freitas, P.L., Farias, J.R.B. Silva, C.J. (2012) Zoneamento de
9 áreas de reforma de cana para a produção de biocombustíveis a partir da soja na região Centro-
10 Sul. **Revista ALCOOLbrás**, n.138, p.63-68, 2012.
11
- 12 Silva, M. B., Kliemann, H. J., Silveira, P. M., Lanna, A. C. (2007). Atributos biológicos do solo
13 sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária**
14 **Brasileira**, Vol.42(12), pp.1755-1761. (12), 1755-1761. [https://dx.doi.org/10.1590/S0100-](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001200013)
15 [204X2007001200013](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001200013)
16
- 17 Silva, R. P., Fernandes, C. (2014). Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on
18 soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
19 Viçosa, v. 38, n. 2, p. 575-584, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200022>.
20
- 21 Silveira, P.M., Stone, L. F. (2010). **Plantas de cobertura dos solos do Cerrado**. 1. ed. Goiânia:
22 Embrapa Arroz e Feijão, v. 1. 218p.
23
- 24 Souza, C. M., Pires, F. R., Partelli, F. L., Assis, R. L. (2012). **Adubação Verde e Rotação de**
25 **Culturas**. 1º. ed. Viçosa: Editora UFV, 108p.
26
- 27 Souza, L. C., Fernandes, C., Moitinho, M. R. et al. (2019). Soil carbon dioxide emission
28 associated with soil porosity after sugarcane field reform. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**
29 24, 113–127. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9800-5>
30
- 31 Storino, M., Peche Filho, A., Kurachi, S. A. H. (2010). Aspectos operacionais do preparo do
32 solo. In: Dinardo-Miranda, L.L., Vasconcelos, A.C.M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-**
33 **açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. v., p. 547-572.
34
- 35 Suzuki, L. E. A. S., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Rodrigues, M. F. (2019). Caracterização
36 física dos solos arenosos do bioma Pampa. **Solos arenosos do Bioma Pampa Brasileiro**.
37 1ed.Santa Maria: Editora UFSM, v. 1, p. 147-184.
38
- 39 Tenelli, S., de Oliveira Bordonal, R., Barbosa, L.C. (2019). Can reduced tillage sustain
40 sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? **Bioenerg. Res.** 12, 764–777
41 <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09996-3>
42

1 Trindade, S. P., Castro, S. S. (2015). Mudanças no uso e impactos da expansão canavieira sobre
2 solos frágeis no Sudoeste Goiano. In: Castro, S.S., Hernani, L.C. (Ed.). **Solos frágeis:
3 caracterização, manejo e sustentabilidade**. 1ed.Brasília: Embrapa, v. 1, p. 243-270.

4
5 Ucker, F.E., De-Campos, A.B., Pérez, D.V., Hernani, L.C., Macedo, J.R. De, Melo, A. Da S.
6 (2015). Comportamento de nutrientes em solos frágeis sob cultivo de cana-de-açúcar na região
7 de Mineiros, GO. In: Castro, S.S., Hernani, L.C. (Ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo
8 e sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, p.185-206.

9
10 ÚNICA. União das indústrias de cana-de-açúcar. Observatório da cana, Bioeletricidade em
11 Números – setembro/2020. Disponível em: <
12 <https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=134> > . Acesso em 20 de outubro de
13 2020.

14
15 Vasconcelos, R. F. B., Cantalice, J. R. B., Moura, G. B. A., Rolim, M. M., Montenegro, C. E.
16 V. (2012). Compressibilidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso não saturado sob diferentes
17 sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36(2), 525-536.
18 <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200022>

19
20 Vieira, L. S. F. (1988). Rocha matriz: quartzo. In: _____. **Manual da ciência do solo**. 2.ed. Ed.
21 Agronômica Ceres. pp. 31-33.

22
23 Werle, R., Garcia, R. A., Rosolem, C. A. (2008). Lixiviação de potássio em função da textura
24 e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(6), 2297-
25 2305. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>

26
27 Wohlenberg, E. V., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Blume, E. (2004). Dinâmica da agregação
28 de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Rev. Bras.
29 Ciênc. Solo** [online]. vol.28, n.5, pp.891-900. [http://dx.doi.org/10.1590/S0100-
30 06832004000500011](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500011).

31
32 Yost, J. L., Hartemink, A. E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances
33 in Agronomy**. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004> .

34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

1 **3. ARTIGO A) DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REFORMA**
2 **CANAVIEIRA EM SOLOS ARENOSOS: IMPACTOS NA FRAÇÃO**
3 **ORGÂNICA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**
4

5

6

HIGHLIHTS

7

8

- Uso da soja na reforma do canavial não favorece o acúmulo de matéria orgânica;

9

10

- Solos arenosos tem sua reatividade aumentada por substâncias húmicas;

11

12

- O uso de adubo verde aumenta os teores de carbono e das substâncias húmicas;

13

14

15

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalária e soja na reforma convencional canavieira**
2 **em solos arenosos: um estudo de caso.** 2021. 175 f. Tese de Doutorado em Agronomia –
3 Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

4

5

RESUMO

6

7 A produção da cana-de-açúcar no Brasil se expande para áreas de solos arenosos visando elevar
8 a produção de energia e açúcar. O objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos de diferentes
9 sistemas de manejo (preparo convencional + cana (PREP+CANA), preparo convencional +
10 adubo verde (*crotalária spectabilis*) (PREP+ADV) e preparo convencional + soja
11 (PREP+SOJA)) na reforma canavieira convencional nos teores de carbono orgânico (CO), nas
12 substâncias húmicas (SH) (ácidos fulvicos e húmicos, e humina), nos atributos químicos e na
13 relação entre a fração orgânica e a fertilidade de solo arenoso. Após 12 meses do período de
14 reforma, coletou-se amostras na profundidade 0,00 – 0,10 m nos três sistemas de reforma além
15 de uma área de Mata Nativa (testemunha). Os resultados obtidos mostraram que o sistema de
16 manejo com uso de adubo verde (PREP+ADV) contribui para maiores incrementos de carbono
17 e substâncias húmicas (AF, AH e HU). Também, esse sistema de manejo possibilita maiores
18 teores de Ca^{2+} , K^+ e CTC; portanto, melhorias a fertilidade. Além disso, tem-se associações
19 entre as SH e o aumento da geração de cargas negativas (\blacktriangle pH, PCZ e CTC) e altos teores de
20 K^+ .

21

22 **Palavras-chaves:** ácidos orgânicos; humina; carbono orgânico; fertilidade.

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalaria and soybean in conventional sugarcane**
2 **reform in sandy soils: a case study**. 2021. 175 sheets. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State
3 University of Londrina, Londrina, 2021

4

5

ABSTRACT

6

7 Sugarcane production in Brazil expands to areas with sandy soils in order to increase energy
8 and sugar production. The objective of this research was to analyze the effects of different
9 management systems (conventional tillage + sugarcane (PREP+CANA), conventional tillage +
10 green manure (*crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV) and conventional tillage + soybean
11 (PREP+SOYBEAN)) on conventional sugarcane reform on organic carbon (CO), humic
12 substances (SH) (fulvic and humic acids, and humin), on chemical attributes and on the
13 relationship between organic fraction and sandy soil fertility. After 12 months of the reform
14 period, samples were collected at depth 0.00 – 0.10 m in the three reform systems in addition
15 to an area of Native Forest (control). The results obtained showed that the management system
16 using green manure (PREP+ADV) contributes to greater increases in carbon and humic
17 substances (AF, AH and HU). Also, this management system allows higher contents of Ca²⁺,
18 K⁺ and CTC; therefore, fertility improvements. Furthermore, there are associations between SH
19 and the increase in the generation of negative charges (▲pH, PCZ and CTC) and high levels of
20 K⁺.

21

22 **Keywords:** organic acids; humin; organic carbon; fertility.

23

3.1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por biocombustíveis tem direcionado o setor sucroenergético brasileiro avançar sobre áreas de pastagens degradadas e sobre solos arenosos (Brehm, 2019, Oliveira et al., 2019). Portanto, grande parte da produção de energia e açúcar será proveniente de solos pobres em matéria orgânica e fertilidade, com baixa retenção de nutrientes e água, indicando um cenário de maior risco para a produção canavieira.

Tal quadro indica necessidade de estudos a respeito de práticas de manejo para melhorar a concentração de matéria orgânica e a fertilidade em solos arenosos pois, segundo Yost e Hartemink (2019), uma das razões dos fatores negativos desses solos, se deve a baixa reatividade imposta, principalmente, pela mineralogia quartzosa, com traços de argilominerais 1:1 (e.g., a caulinita) e oxi-hidróxicos de Fe e Al (e.g., goethita, hematita e gibstita).

Assim sendo, a utilização de adubos verdes – ou plantas de cobertura, pode representar benefícios aos solos arenosos, uma vez que estas plantas tendem a favorecer o input de carbono, e com isso, elevar os teores da fração orgânica no solo e melhorar a reatividade do solo (Franchini et al., 2012; Murphy, 2015). Pois como sabemos, as características da fração orgânica (e.g., carbono orgânico e substâncias húmicas: ácidos fúlvicos e húmicos e humina), apresentam alta área de superfície específica e a baixa constante de dissociação dos de grupos funcionais orgânicos (carboxílicos, alcoólicos e fenólicos) (Sposito, 2008; Dick et al., 2009), o que possibilita a alta interação das frações orgânicas com a fração mineral, promovendo então, alterações no balanço de cargas e elevando a geração de cargas negativas no solo (Mendonça et al., 2006).

Além disso, o manejo com adubo verde pode influenciar positivamente a fertilidade do solo com acréscimos nos teores de nutrientes pelo processo de ciclagem (Maluf et al., 2015) devido à maior exploração do solo pelo sistema radicular, o rápido crescimento e o alto aporte de biomassa (Wutke et al., 2014). A vista disso, é perceptível a possibilidade de se elevar o fornecimento de nutrientes as culturas em solos de baixa CTC, como os solos arenosos, via adubação verde; o que mitigaria riscos de deficiência nutricional durante o cultivo da cultura.

Todavia, apesar dos aspectos positivos devido ao uso de plantas de cobertura, o manejo do solo com estas plantas é ainda não possui uma grande adoção pelo setor sucroenergético (Colleti, 2010) e, uma das razões para isso, é que o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar pode perdurar por cinco anos ou mais após o seu plantio. Dessa maneira, a utilização de adubos de verdes ocorre somente no período de reforma dos canaviais, causando a impressão de baixos efeitos aos atributos do solo. Segundo Bolonhezi e Gonçalves (2015) acredita-se que

1 as vantagens do uso de adubos verdes só ocorrem se utilizados continuamente por um longo
2 período, o que, no caso da cana-de-açúcar é inviável pelas suas características de cultivo.

3 O incentivo da inserção da cultura da soja nas áreas de reforma, contribui para a
4 redução, até substituição, do manejo com adubos verde nas áreas canavieiras, visto o rápido
5 ganho econômico que a soja traz devido ao seu valor comercial (Bolonhezi; Gonçalves, 2015).
6 Adicionalmente, o sistema convencional de reforma, caracterizado por várias operações de
7 revolvimento do solo com redução da cobertura vegetal e aumento da oxidação da matéria
8 orgânica (Coleti, 2010; Moitinho et al., 2012), ainda é em grande parte utilizado.

9 Somado a esse contexto, Fernandez et al (2012) e Fernandez e Silva (2014),
10 concluíram que diferentes sistemas de reforma (soja *versus* milho *versus* crotalária), tiveram
11 efeitos na agregação, mas não influenciam os atributos químicos do solo. Furlani e Voltarelli
12 (2015), relatam que efeitos de diferentes sistemas de reforma nos atributos do solo podem estar
13 mais relacionados as operações agrícolas do que, necessariamente, ao uso de culturas
14 (amendoim, soja ou adubos verdes) na reforma dos canaviais.

15 Apesar da literatura ainda ser incipiente quanto ao uso dos adubos verdes na
16 reforma de canaviais, Mamedov et al (2016) e Gomes et al (2017) mostraram em estudos não
17 focados ao manejo de solos arenosos sob cultivo da cana-de-açúcar, uma associação positiva
18 entre fração orgânica e a fertilidade do solo.

19 Assim sendo, tendo por hipótese que a utilização de adubos verdes na reforma dos
20 canaviais sob solos arenosos contribui para acréscimos nos teores de carbono orgânico total e
21 substâncias húmicas (ácidos fúlvico, ácidos húmicos e humina) e na melhoria da fertilidade do
22 solo, nosso objetivo é analisar os efeitos de diferentes sistemas de reforma (Convencional
23 *versus* Soja *versus* Adubo Verde) nos teores da fração orgânica e nos atributos químicos, bem
24 como, a relação entre substâncias húmicas e os atributos químicos, de solos arenosos.

25

26 **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

27

28 **3.2.1 ÁREAS DE ESTUDO**

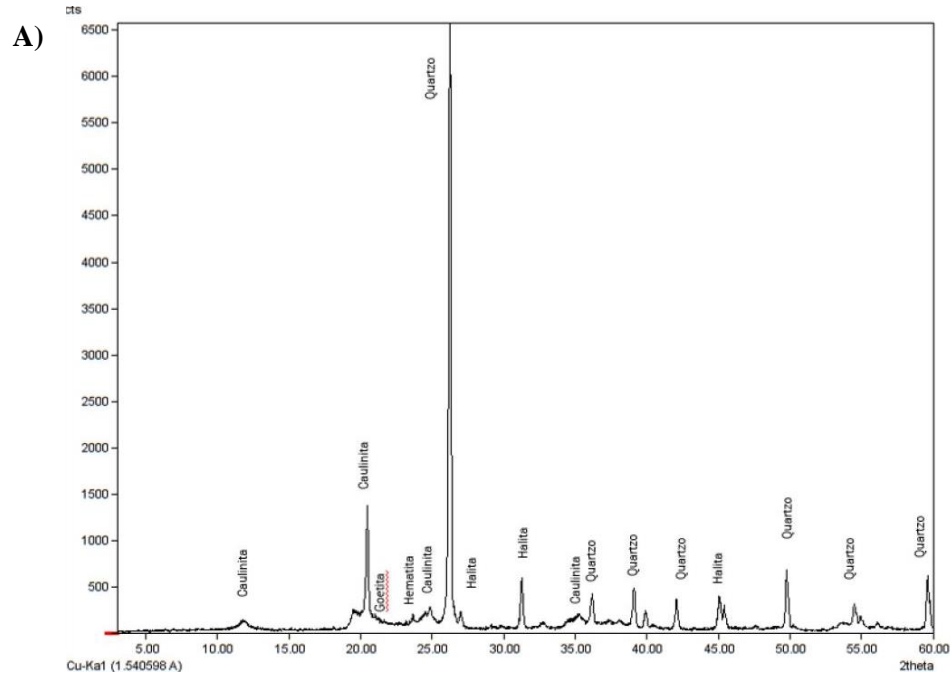
29

30 A pesquisa foi realizada em áreas de cerrado cujas coordenadas, altitude, clima,
31 solo, caracterização granulométrica e densidade de partículas (Dp) estão apresentadas na Tabela
32 1. A formação geológica é representada pelo Grupo Bauru, formação Araçatuba, que pertence
33 a Bacia Sedimentar do Paraná; caracterizada como Planalto Ocidental Paulista, com litologia
34 dominante de Arenitos de siltitos e argilitos (Ross & Moroz,1999; IBGE, 2019). Quanto a

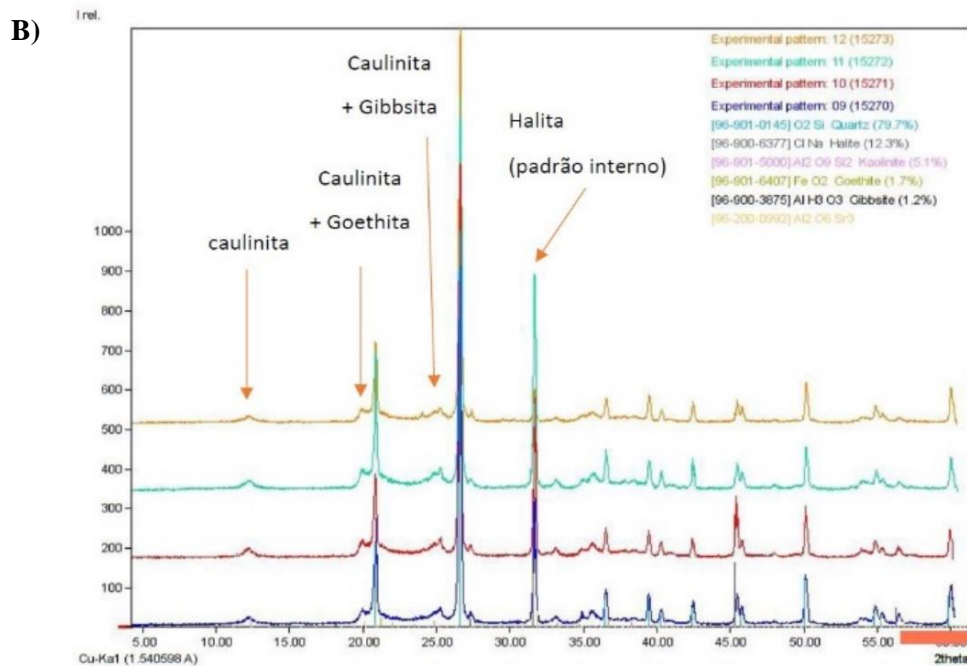
1 mineralogia, foram identificados – em ordem decrescente, a presença dos seguintes minerais:
 2 quartzo > caulinita > goethita > gibbsita = hematita (Figura 1, A e B).

3

4



5



6 **Figura 1.** Caracterização mineralógica do Argissolo Vermelho distrófico arênico, na camada de 30
 7 – 40 cm, situada sob Mata Nativa, região noroeste do Estado de São Paulo. **A)** Picos de quartzo; **B)**
 8 Picos dos demais argilominerais. Determinações por meio de difratometria diferencial de raios X
 9 (Schulze, 1984) com equipamento Rigaku Miniflex II, radiação de Cuka, operado a 30 kV e 15mA,
 10 com filtro de Ni e monocromador de grafite. Determinações realizadas no Laboratório de Gênese
 11 de Solos / Esalq-USP.

1 **Tabela 1.** Localização geográfica, clima, caracterização granulométrica, densidade de
 2 partículas (Dp) e propriedades químicas dos solos das áreas de estudo.

⁽¹⁾ Áreas de estudo	Coordenadas	Altitude	⁽²⁾ Clima	Argila	Silte	Areia	Dp	⁽³⁾ Classe de Solo
		m		g kg ⁻¹		kg dm ⁻³		
MT (Fig. 3A)	21° 3' 34" S	410	Aw	71,9	77,8	850,3	2,77	Argissolo Vermelho distrófico
	50° 54' 41" O							
PREP+ADV (Fig. 3B)	21° 3' 42" S	440		80,2	110,3	809,5	2,82	Argissolo Vermelho distrófico
	50° 55' 15" O							
PREP+SOJA (Fig. 3C)	21° 3' 21" S	390	88,4	103,3	808,3	2,77	Argissolo Vermelho distrófico	
	51° 10' 16" O							
PREP+CANA (Fig. 3D)	21° 6' 41" S	440	77,8	87,8	834,5	2,69	Argissolo Vermelho distrófico	
	50° 45' 24" O							

3 ⁽¹⁾Áreas de estudo: **MT**: Mata Nativa; **PREP+ADV**: preparo convencional + *Crotalaria spectabilis*;
 4 **PREP+SOJA**: preparo convencional + soja; **PREP+CANA**: preparo convencional + cana. ⁽²⁾**Clima**: Aw
 5 (segundo a classificação de Köppen): tropical úmido com inverno seco, com temperaturas médias anuais,
 6 máxima, mínima e média, respectivamente, de 31°C, 18°C e 24°C (CIIAGRO, 2019) e com a precipitação
 7 anual entre 1200 a 1500 mm, o mês mais seco precipitação inferior a 60 mm (CEPAGRI, 2017). ⁽³⁾**Classe de**
 8 **Solo**: definida conforme critérios de Santos et al (2018).
 9

10 As áreas de estudo (Tabela 1), possuem um histórico de colheita a fogo e manual
 11 de 2000 a 2005. Nos anos seguintes, o plantio e a colheita da cultura foram mecanizados,
 12 extinguindo o uso do fogo. Entre junho e julho de 2015, foi realizada a colheita do 5º ciclo de
 13 cultivo das áreas em questão, executando-se o período de reforma de outubro de 2015 a março
 14 de 2016 (Figura 2).

15 Todas as áreas no período de reforma receberam operações padrão (dessecação
 16 química da cultura, incorporação da soqueira por meio da duas gradagens e posteriormente
 17 operação de nivelamento). Quanto a adição de corretivos, foram aplicadas as respectivas doses
 18 de calcário e gesso (ton ha⁻¹): PREP+CANA, 2,50 e 1,50; PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*),
 19 2,00 e 1,00; e, PREP+SOJA, 3,00 e 2,00. Paras as doses de adubos (N–P₂O₅–K₂O), foram
 20 aplicadas no plantio, nos sistema PREP+CANA, PREP+ADV e PREP+SOJA, respectivamente,
 21 600,00, 400,00 e 700,00 kg ha⁻¹.

22 O plantio foi executado em março/2016 em todas as áreas (em sistema de cana-de-
 23 ano-e-meio), com espaçamento entre sulcos de 1,50 m. Contudo, em função dos diferentes tipos
 24 de reforma, houve diferenças nas formas de plantio. No sistema convencional, a área
 25 permaneceu em pousio de novembro/2015 a março/2016, sendo neste mês, realizada a

1 dessecação das plantas daninhas com posterior operação de gradagem; após, com solo exposto,
2 foi feita a sulcação e o plantio. Para o sistema de manejo, PREP+SOJA, após as operações
3 padrão, a oleaginosa foi cultivada de novembro/2015 a março/2016. Após a sua colheita, foi
4 executada a operação de subsolagem e o plantio da cana-de-açúcar realizado da forma de cultivo
5 mínimo sem revolvimento do solo. E, para o sistema de manejo, PREP+ADV, a *Crotalaria*
6 *spectabilis* foi cultivada de novembro/2015 a março/2016, sendo o plantio da cana-de-açúcar
7 realizado sobre a massa vegetal do adubo verde, em forma de plantio direto (Figura 3).

8 9 **3.2.2 AMOSTRAGEM DE SOLO**

10
11 As coletas de solo foram realizadas após 12 meses do plantio da cana-de-açúcar,
12 em março de 2017. As amostragens foram delimitadas em áreas de 6,00 hectares por sistema
13 de sistemas de reforma, onde foram abertas 8 trincheiras de 1,00 x 0,50 x 1,00 (cumprimento x
14 largura x profundidade), a cada 30 m de uma trincheira até a outra, nas entrelinhas da cultura,
15 a 0,25 m do sulco de plantio,

16 Dessa forma, foram coletadas em cada trincheira, na camada de 0 – 10 cm,
17 adjacente ao sulco de plantio, 5 amostras simples, para formação de uma amostra composta,
18 para análise dos teores de substâncias húmicas e para os atributos químicos. Estes mesmos
19 procedimentos, foram executados na área de referência, isto é, na mata nativa. Sendo assim, ao
20 final foram totalizadas 40 amostras coletadas (8 trincheiras * 5 áreas).

21 As amostragens na camada de 0 – 10 cm, foram realizadas em função do objetivo
22 desta pesquisa. Isso porque, ao passo que se aumenta a profundidade de amostragem, tem-se a
23 diminuição da presença e da atividade microbiana (Mendes et al., 2019), do contato solo-
24 resíduo vegetal, além da redução da influência das práticas agrícolas de adição de resíduos
25 orgânicos, corretivos e adubos. Fatores que podem vir a interferir na concentração das
26 substâncias húmicas e nas propriedades químicas.

27 28 **3.2.3 DETERMINAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

29
30 As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 40 °C e peneiradas em
31 malha de 2 mm para determinação dos teores de carbono orgânico (CO), das substâncias
32 húmicas (teores de ácidos fúlvicos (AF) e húmicos (AH) e humina (HU)) e atributos químicos.
33 Para determinação da quantidade de CO, utilizou-se a metodologia de Walkley-Black,
34 conforme descrição de Fontana e Campos (2017). Para obtenção dos teores do AF, AH e HU,

1 a metodologia usada foi segundo a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift,
 2 1996), conforme adaptação de Benites et al. (2003). Após as determinações analíticas, dos
 3 teores de COT, AF, AH e HU, foram calculadas as relações AH:AF e EA:HU ($EA = AF + AH$
 4 / HU; em que EA = extrato alcalino).

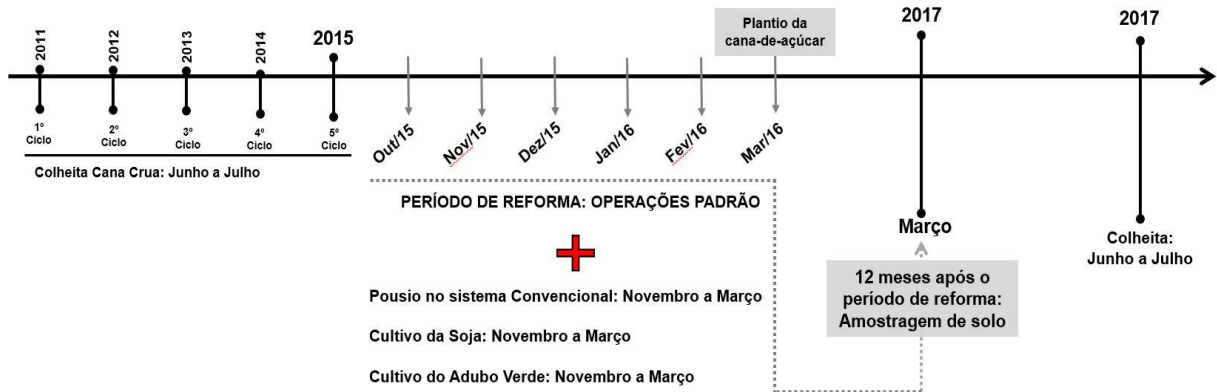
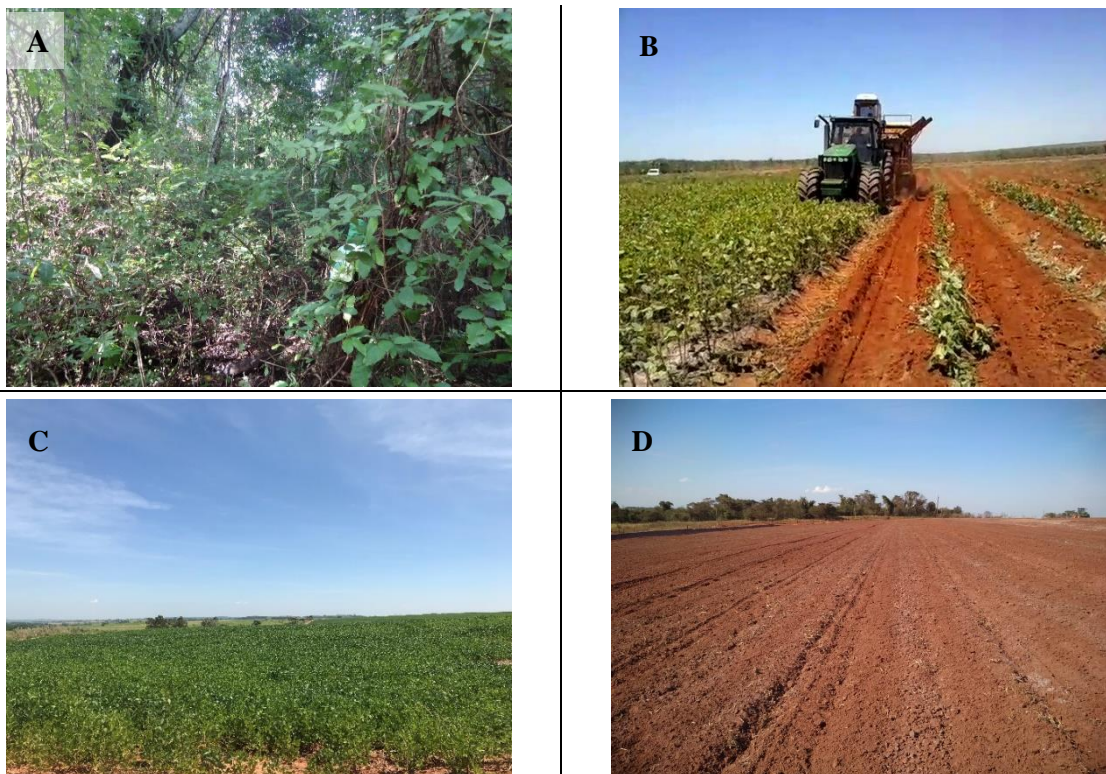


Figura 2. Ciclos de cultivo e colheita de cana-de-açúcar, e o período de reforma das áreas pesquisadas.



9 **Figura 3.** Áreas envolvidas na pesquisa: **A)** Mata Nativa; **B)** preparo convencional + adubo
 10 verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); **C)** preparo convencional + soja (PREP+SOJA);
 11 **D)** preparo convencional + cana (PREP+CANA).
 12

13 A determinação das propriedades químicas foi conforme Teixeira et al (2017). P e
 14 K, extraídos em solução Mehlich-1; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} , extraídos em solução de KCl, a 0,1 Mol
 15 L^{-1} ; e, H+Al, determinado em solução SMP; e, acidez ativa determinada em pH $CaCl_2$ 0,01 mol

1 L⁻¹. O ΔpH (pH-KCl – pH-H₂O, de acordo com Mekaru & Uehara (1972)) e o PCZ estimado
2 conforme Uehara (1979), pela formula: PCZ = [(2 * pH-KCl (1 mol L⁻¹)] – pH-H₂O.

3.2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3
4
5
6 A análises estatísticas foram executadas em delineamento inteiramente casualizado,
7 submetendo-se inicialmente os dados aos testes homoscedasticidade e normalidade,
8 respectivamente pelos testes de Bartlét e Shapiro Wilk. Sendo atendidos estes pressupostos,
9 seguiu-se a análise de variância pelo teste F, comparando-se as médias pelo teste de Scott Knott.

10 Posteriormente, foi realizada a correlação de Pearson entre as substâncias húmicas
11 e os atributos químicos. Todas as análises estatísticas foram executadas no software R (R Studio
12 team, 2018), com 5 % de probabilidade de erro.

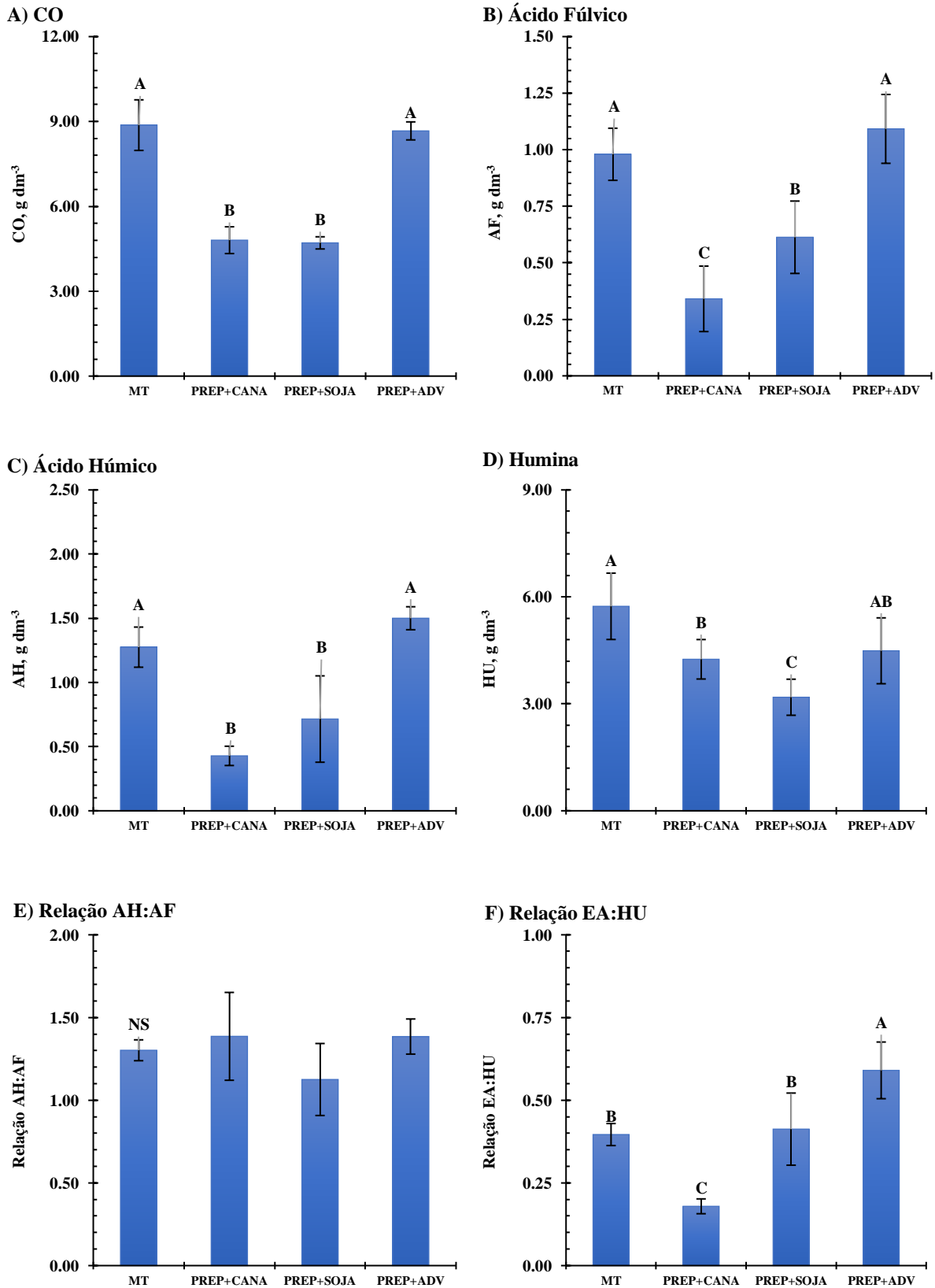
3.3 RESULTADOS

3.3.1 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

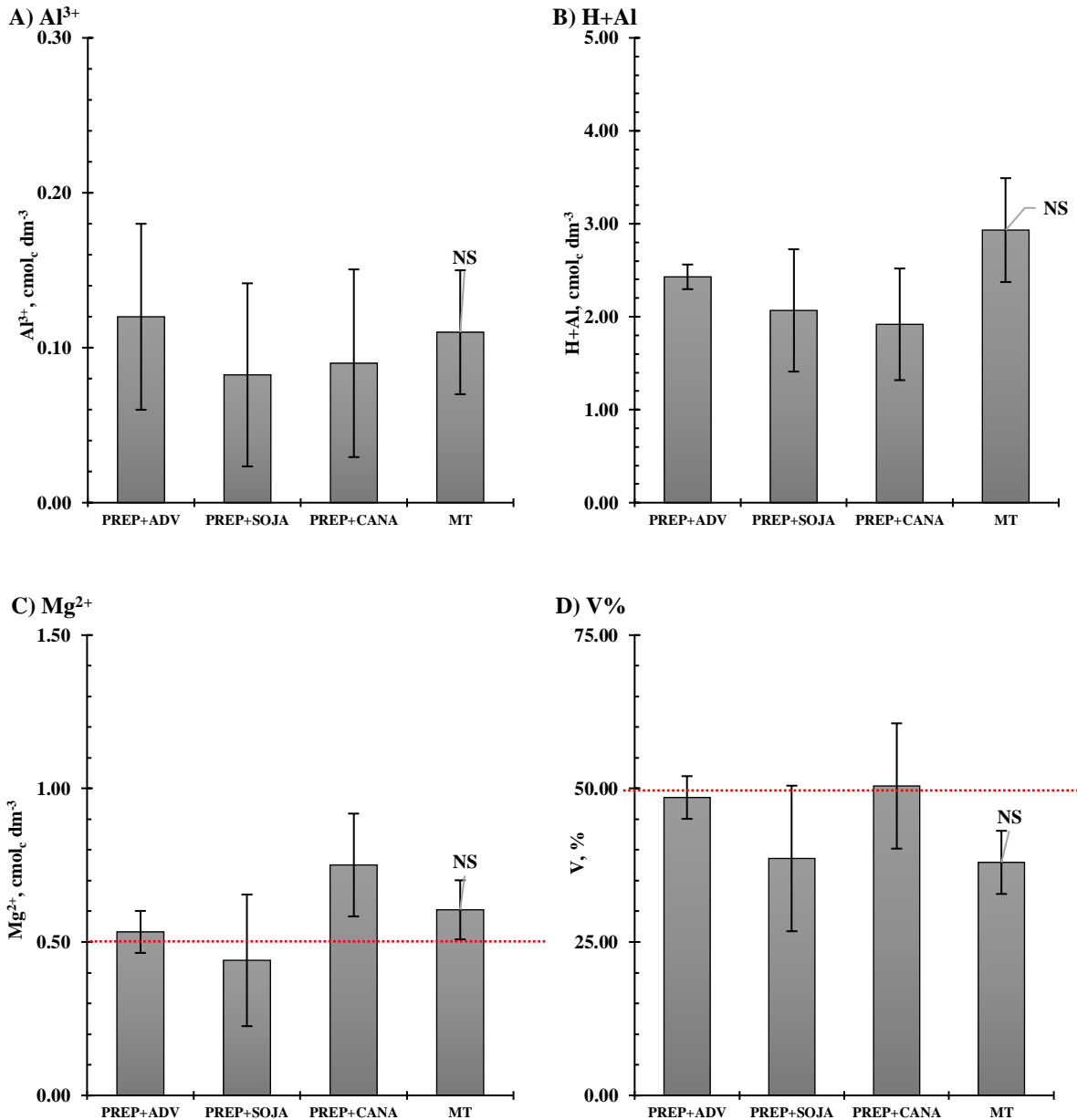
13
14
15
16
17
18 O sistema de manejo, PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*), possibilitou os maiores
19 incrementos nos teores das substâncias húmicas, sendo os que mais se aproximaram da mata
20 nativa (MT), visto os maiores teores de CO, AF e AH (Figura 4, A, B e C). Os teores de HU na
21 MT foram superiores aos sistemas de reforma. Nos sistemas de manejo, PREP+CANA e
22 PREP+ADV, ocorreram efeitos iguais nos teores de HU e diferiram-se do sistema PREP+SOJA
23 (Figura 4, D). A relação AH:AF não foi influenciada pelos diferentes sistemas de manejo
24 (Figura 3, E), enquanto a relação EA:HU, apresentou maiores valores quando no uso do sistema
25 PREP+ADV, e menor, para o sistema PREP+CANA (Figura 4, F).

3.3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

26
27
28
29 Observou-se que os diferentes sistemas de reforma não apresentaram efeitos
30 contrastantes para acidez trocável (Al³⁺) e potencial (H+Al) e para os teores de Mg²⁺ e V%
31 (Figura 5, A a D) (p-valor > 0,05; vide apêndice 1). No entanto, a acidez ativa (pH) e os teores
32 de CTC(T), Ca²⁺, K⁺ e P, demonstraram ser influenciados pelos sistemas de reforma (Figura 6,
33 de A a E).



4 **Figura 4.** Níveis de concentração das substâncias húmicas em solos arenosos na camada de 0
5 – 10 cm sob diferentes sistemas de manejo: PREP+CANA, PREP+SOJA e PREP+ADV.
6 Médias comparadas pelo teste Scott Knott (p -valor < 0,05). As barras correspondem ao desvio
7 padrão da média. Os valores de significância para cada variável encontram-se no apêndice 1.



1

2

3 **Figura 5.** Atributos químicos de solos arenosos (**A**, acidez trocável; **B**, Acidez potencial; **C**,
4 teores de Mg²⁺; **D**, Saturação por bases) sob diferentes sistemas de manejo: PREP+CANA,
5 PREP+SOJA e PREP+ADV. As linhas tracejadas em vermelho representam teores
6 agronômicos adequados para os atributos analisados, conforme Souza e Lobato (2004). Médias
7 comparadas pelo teste Scott Knott (p-valor < 0,05); NS = não significativo. As barras
8 correspondem ao desvio padrão. Os valores de significância para cada variável encontram-se
9 no apêndice 1.

10

11 Para acidez ativa (pH), o sistema de manejo com adubo verde (PREP+ADV)
12 demonstrou maior potencial de acidificação do solo em relação a MT e aos outros sistemas de
13 reforma; obtendo resultado abaixo da faixa considerada adequada para culturas (< 4,9) (Figura
14 **6, A**). Já os resultados da capacidade de retenção de cátions (CTC) foram superiores no sistema

1 PREP+ADV em comparação aos sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA, tendo valores iguais
2 ao da MT e considerados adequados, segundo Souza e Lobato (2004) (Figura 6, B).

3 Quanto aos teores de Ca^{2+} e K^+ , assim como para CTC, o sistema PREP+ADV,
4 demonstrou maior potencial de aumento destes elementos no solo (Figura 6, C e D), sendo os
5 valores encontrados, considerados adequados conforme Souza e Lobato (2004). E, para os
6 teores disponíveis de fósforo, os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+SOJA,
7 demonstraram ser sistemas com melhor disponibilidade do elemento, apresentando teores
8 iguais e superiores ao do sistema PREP+ADV e da MT.

10 3.3.3 CORRELAÇÕES ENTRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS (SH) E ATRIBUTOS QUÍMICOS

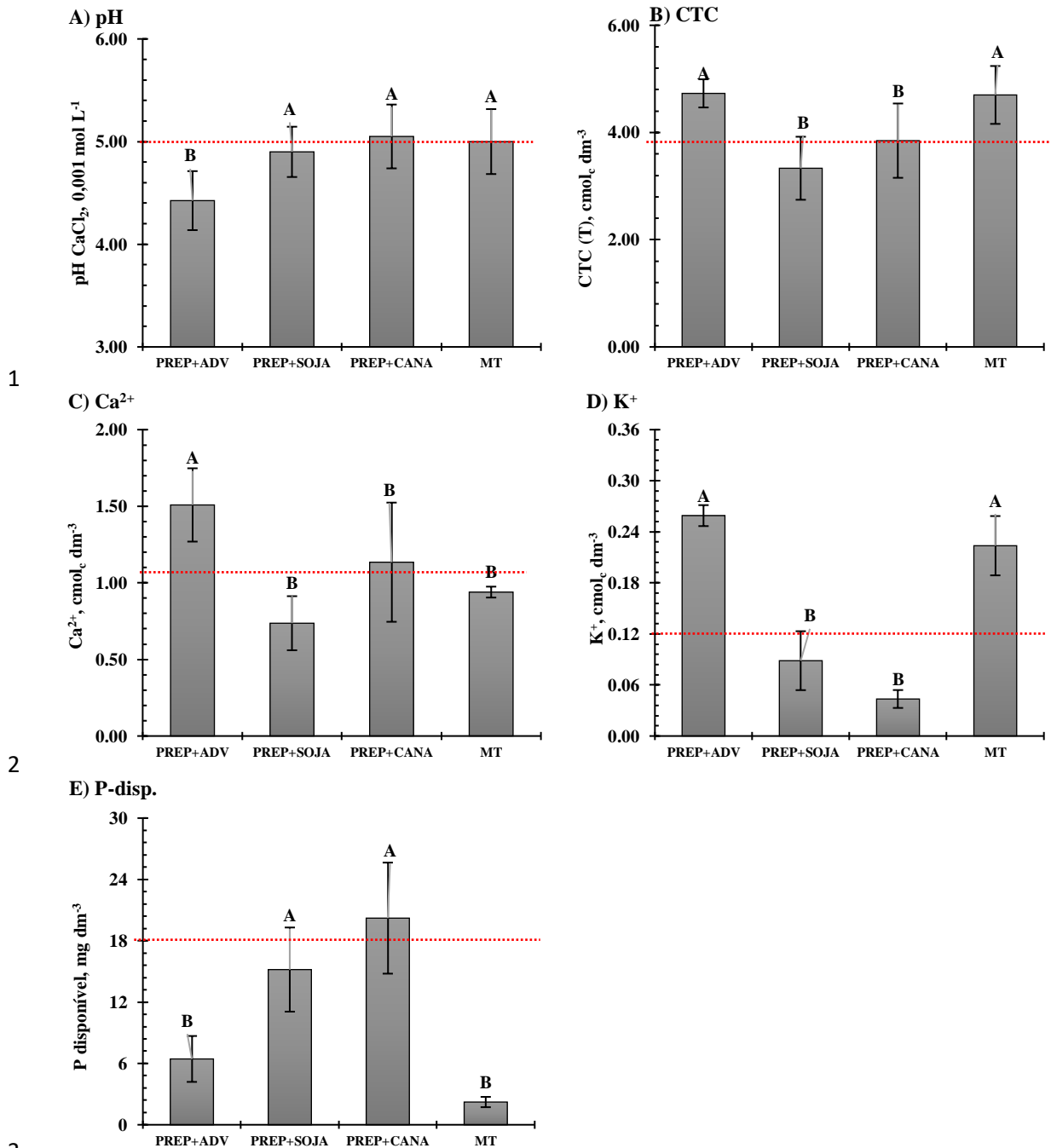
11
12 Os resultados demonstraram ausência de correlações entre as SH e os teores de Al^{3+} ,
13 Ca^{2+} , Mg^{2+} e V%. De outra forma, houve associação positiva entre os CO, AF e AH para com
14 os valores de ΔpH (i.e., de aumento da eletronegatividade do ΔpH) (Figura 7, de A e D) e,
15 para com o PCZ (Figura 7, de E a H). Apenas os teores de HU, não apresentaram correlação
16 com estes atributos eletroquímicos.

17 Já a acidez ativa (pH) denotou em correlação negativa em função do aumento dos
18 teores de AF e AH (Figura 7, J e K). Com relação a acidez potencial (H+Al), CTC e teores de
19 K^+ , estes atributos apresentaram associação positiva com aumento dos teores de CO, AF, AH e
20 HU (respectivamente, Figura 7, de M a P; Figura 8, de A e D; Figura 8, de E a H). Sobre os
21 teores de fósforo, o aumento das substâncias húmicas no solo (CO, AF e AH) apontaram
22 associação negativa para com este elemento (Figura 8, de I a L).

24 3.4 DISCUSSÃO

26 3.4.1 IMPLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE REFORMA NAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

27
28 Nossos resultados mostraram existir efeito dos diferentes sistemas de reforma nos
29 teores de CO e das SH. Os maiores teores de CO, AF e AH encontrados no sistema de manejo
30 com adubo verde (PREP+ADV) (Figura 4, de A a C) indicam que a utilização de plantas de
31 cobertura em solos com baixo teor de argila, implica em maior potencial na adição e
32 manutenção dos teores de carbono, assim como, nas frações mais reativas da matéria orgânica
33 (AF e AH), corroborando com a hipótese desta pesquisa.



4 **Figura 6.** Atributos químicos de solos arenosos em função de diferentes sistemas de manejo:
 5 PREP+CANA, PREP+SOJA e PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*) (**A**, pH; **B**, CTC; **C**, Ca²⁺;
 6 **D**, K⁺; **E**, Fósforo). As linhas tracejadas em vermelho representam teores agrônômicos
 7 adequados para os atributos analisados, conforme Souza e Lobato (2004). Médias comparadas
 8 pelo teste Scott Knott (p-valor < 0,05). As barras correspondem ao desvio padrão. Os valores
 9 de significância para cada variável encontram-se no apêndice 1.

10

11

12

13

14

Estes resultados, podem ser relacionados a dois fatores: ao aspecto biológico do adubo verde, e ao sistema de plantio, o plantio direto. Sobre o primeiro, tem-se que a *Crotalaria spectabilis* possui um potencial de produção de massa verde superior a 20 ton ha⁻¹ (Wutke et al., 2014), o que permite uma elevada quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo.

1 O plantio direto, sobre a massa verde do adubo verde, garantiria a lenta
2 decomposição da massa verde e, além disso, mitigaria oscilações de temperatura e umidade,
3 proporcionando melhores condições para atividade biológica (Nunes et al., 2012; Silva et al.,
4 2014). Sendo assim, estas condições mais favoráveis a preservação e adição de carbono, tenha
5 colaborado para o incremento dos teores de CO, AF e AH.

6 Ademais, o fato dos maiores teores de AF e AH no sistema de manejo PREP+ADV
7 indica, que o manejo com a *crotalaria spectabilis* no período de reforma pode postergar a
8 manutenção destas substâncias em relação aos outros sistemas de reforma. Mesmo, apesar
9 destas substâncias terem um baixo tempo de residência no solo (Schmidt et al, 2011).

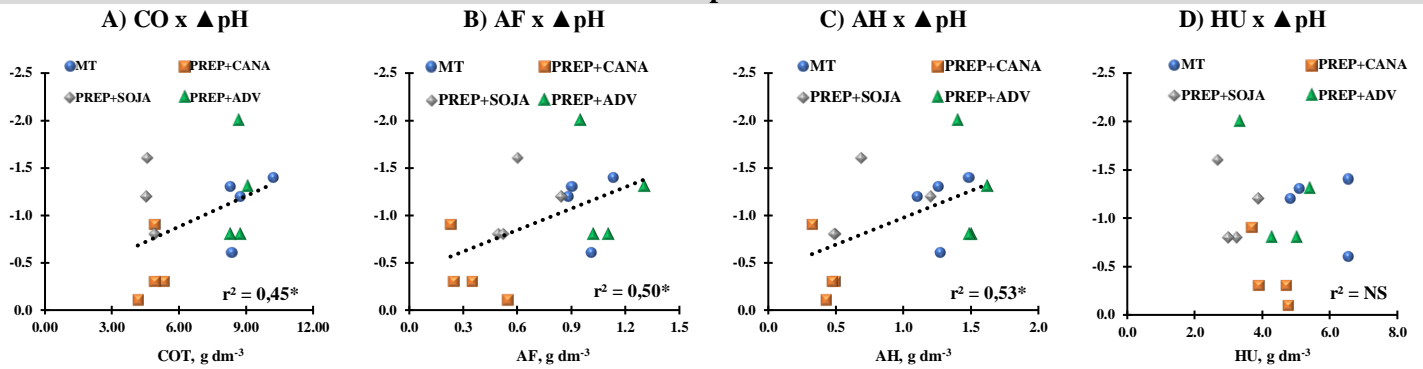
10 Outro detalhe a ser considerado, é que os maiores teores de AH no PREP+ADV
11 indica uma melhor qualidade do humus. Isso porque, dependendo do tipo de resíduo – vegetal
12 ou não, o material orgânico tende promover um aumento na diversidade e na atividade
13 microbiana, o que acarreta a síntese de SH mais complexas e condensadas, como os AH
14 (Canellas et al, 2010). Dessa forma, o que intensificaria a manutenção de maiores teores de AH
15 nas camadas mais superficiais, dado o fato que, tendo uma cadeia mais complexa e condensada,
16 isto mitigaria uma rápida decomposição desta fração orgânica.

17 Já os menores teores de CO e HU encontrados nos sistemas de manejo,
18 PREP+CANA e PREP+SOJA (Figura 4, A e D) evidenciam que estes sistemas contribuem em
19 menor grau, quando comparado ao sistema de manejo, PREP+ADV, para acréscimos a fração
20 orgânica. Estes menores teores de CO em ambos os sistemas – PREP+CANA e PREP+SOJA,
21 provavelmente, seja em razão destes sistemas de reforma favorecerem com maior intensidade
22 a oxidação da matéria orgânica e um menor input de C.

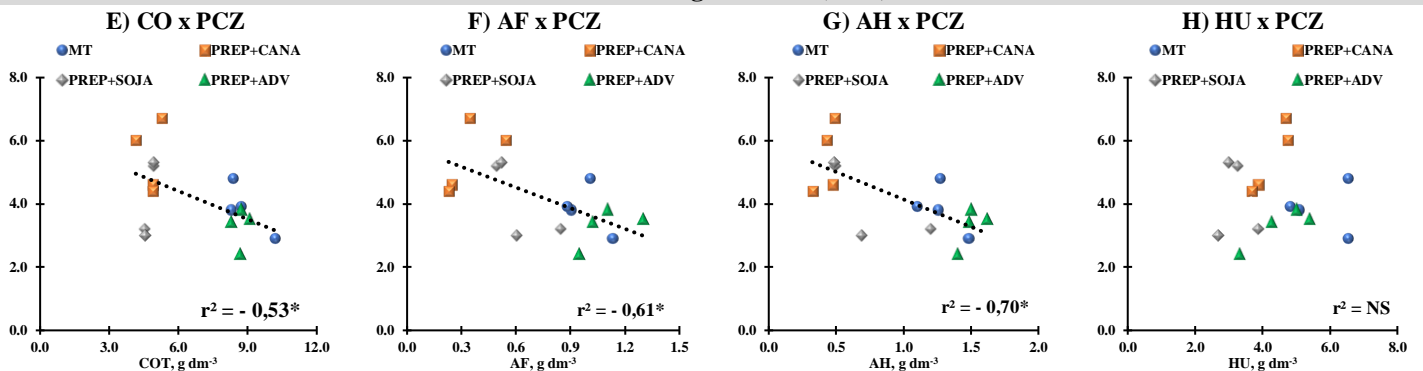
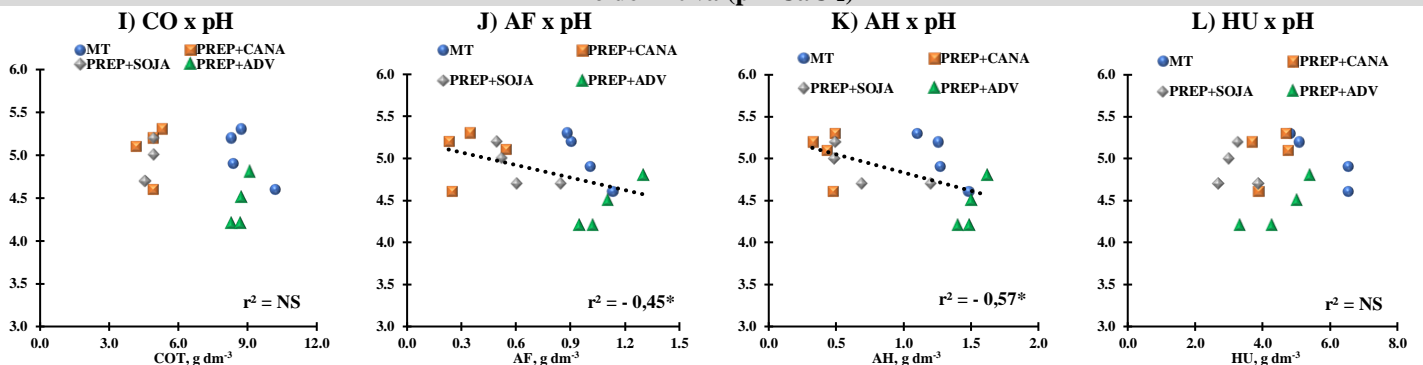
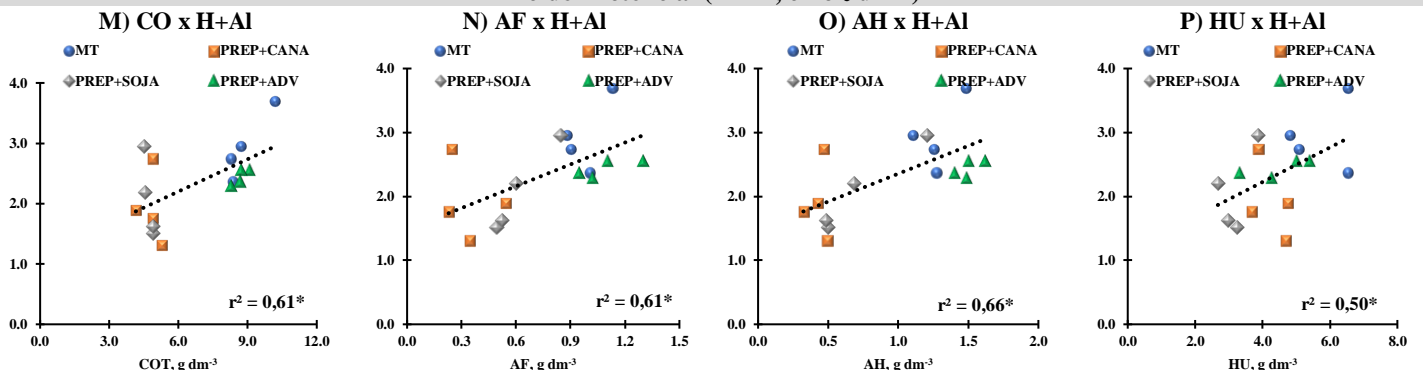
23 No caso do sistema de manejo PREP+CANA, em razão do revolvimento do solo
24 durante as operações padrão, com posterior plantio da cana-de-açúcar sob solo exposto. Já no
25 sistema PREP+SOJA, o plantio após uma cultura de baixa produção de massa verde e rápida
26 decomposição e mineralização (Wutke et al., 2014). Assim, fatores que convergiriam para um
27 baixo incremento de CO no solo.

28 Acerca dos baixos teores de HU nos sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA (Figura
29 4, D), talvez isto pode ser relacionado ao efeito “priming”. Tal hipótese é levantada uma vez
30 que ambos os sistemas de reforma convergem para baixa adição de matéria orgânica; como
31 discutido anteriormente. Nesse sentido, ao considerar que as áreas receberam aplicação de
32 vinhaça (subproduto de baixa relação C:N e alto conteúdo orgânico (Hoarau et al., 2018)), está
33 prática tenderia a elevar rapidamente a concentração de carbono no solo (Zani et al., 2018).

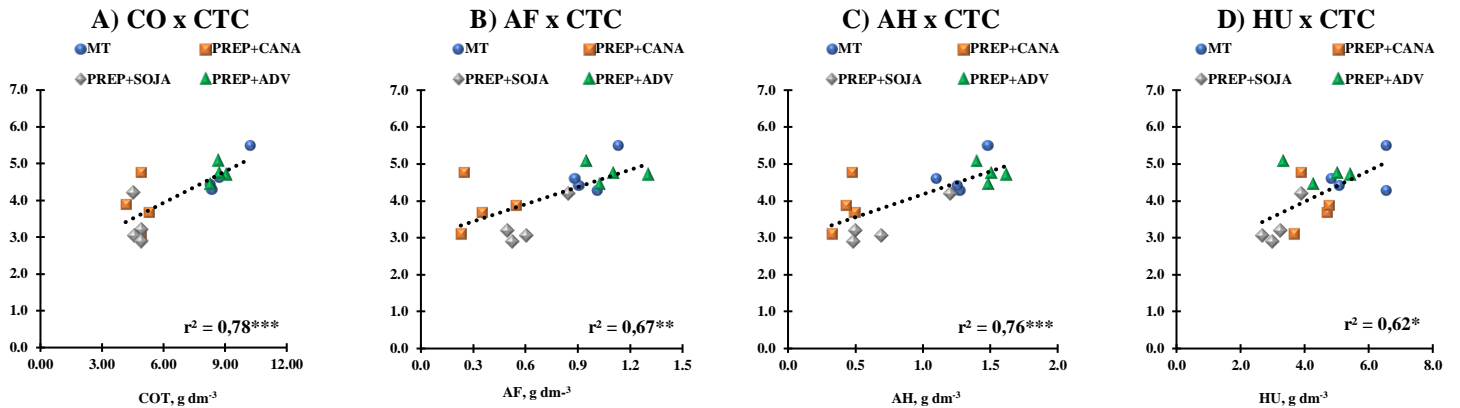
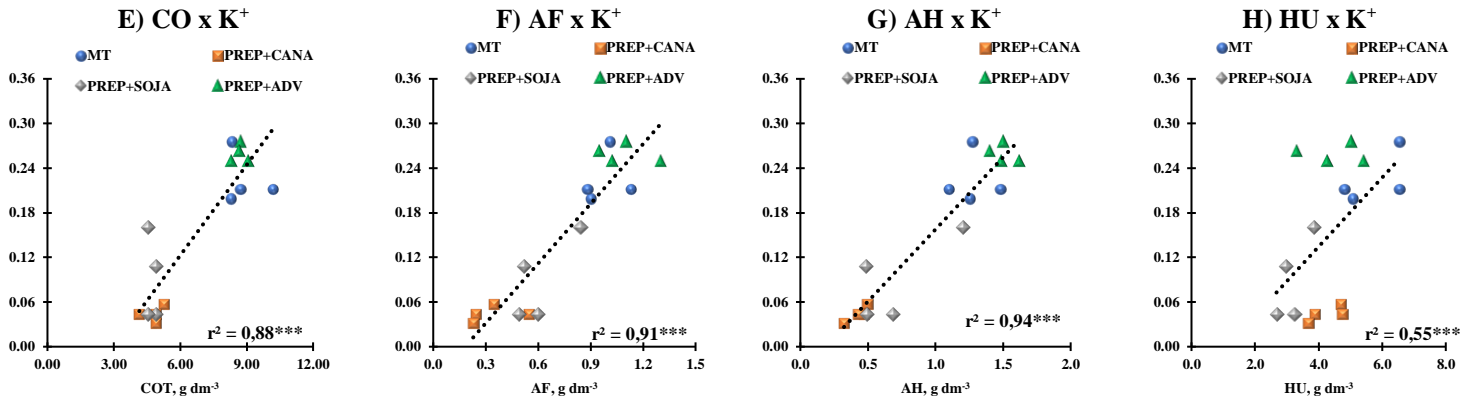
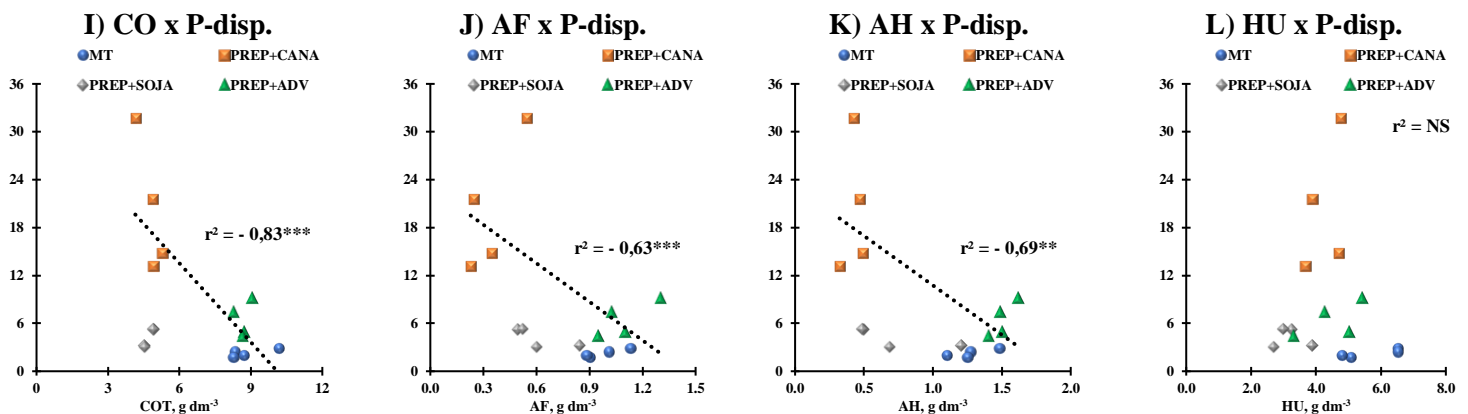
▲ pH



Ponto de Carga de Zero (PCZ)

Acidez Ativa (pH CaCl₂)Acidez Potencial (H+Al, cmol_c dm⁻³)

- 1 **Figura 7.** Relação entre as substâncias húmicas e a fertilidade de solos arenosos: ▲ pH (de A a D); **Ponto de Carga Zero (PCZ)** (de E a H); **Acidez ativa (pH)** (de I a L); e, **Acidez potencial (H+Al)** (de M a P).
- 2 Observação: para todas as correlações, da esquerda para direita, as variáveis estão correlacionadas com: CO,
- 3 AF, AH e HU. Correlações significativas (p-valor): (*) < 0,05; (**) < 0,01; (***) < 0,001; e, NS, Não
- 4 Significativo. Correlações não significativas não foram representadas. O resumo de todas as correlações
- 5 analisadas apresenta-se no apêndice 2.
- 6

CTC, cmolc dm^{-3}  K^+ , cmolc dm^{-3} Fósforo disponível (P), mg dm^{-3} 

- 1 **Figura 8.** Relação entre as substâncias húmicas e a fertilidade de solos arenosos: **CTC**
 2 **Potencial** (de A a D); teores de K^+ (de E a H); e, **Fósforo disponível** (I a L). Observação: para
 3 todas as correlações em questão, da esquerda para direita, as variáveis estão correlacionadas
 4 com: CO, AF, AH e HU. Correlações significativas (p-valor): (*) < 0,05; (**) < 0,01; (***) <
 5 0,001; e, NS, Não Significativo. Correlações não significativas não foram representadas. O
 6 resumo de todas as correlações analisadas apresenta-se no apêndice 2.

1 Todavia, como discutido por Kuzyakov (2010) e Mehnaz et al (2019), ao se elevar
2 a concentração de carbono num curto espaço de tempo em locais com baixos teores de carbono,
3 isto pode ocasionar uma “explosão” na atividade microbiológica. Dessa forma, a elevada e
4 intensa atividade microbiana concorre para a degradação do material orgânico o que pode
5 acarretar não aumento, mas na diminuição dos teores de carbono no solo.

6 Além disso, é necessário considerar as condições de baixo favorecimento de
7 estabilização do carbono em solos arenosos, que facilitariam a degradação do material orgânico
8 pela microbiota (Zin et al, 2007; Yost e Hartemink, 2019). Logo, baixos teores de carbono
9 provocariam baixos teores de HU no solo, justificando tais resultados. No entanto, apesar desta
10 discussão, ressaltamos a necessidade de estudos para confirmação desta hipótese.

11 De outra forma, percebe-se que pela igualdade estatística dos teores de HU do
12 sistema PREP+ADV para com a MT (Figura 4, D), demonstra-se que o manejo adotado com
13 adubo verde catalisa o processo de humificação da matéria orgânica; assim como a mata nativa.
14 Como, abordado por Dieckow et al (2009) e Brandan et al (2017) práticas de manejo que tenham
15 por característica incrementar a adição de carbono, beneficiam a diversificação da população
16 microbiana no solo que pode favorecer mudanças nas cadeias orgânicas, e com isto, elevar a
17 proporção de C e reduzir de H (menor razão H:C), refletindo um caráter mais alifático e maior
18 quantidade de anéis de benzeno; isto é, uma fração orgânica mais estável e menos reativa.
19 Assim, o que representaria uma menor perda de carbono.

20 Quanto a ausência de efeitos dos sistemas de reforma na relação AH:AF, a de
21 considerar-se que, pelas características destas SH, como o baixo peso molecular (Santos et al.,
22 2013), somada a textura arenosa, a percolação de ambas SH no solo pode estar sendo
23 semelhante em todas as áreas. Dessa maneira, talvez o tipo de solo para esta relação seria o
24 fator mais preponderante.

25 Por outro lado, é necessário considerar a estrutura que tais ácidos se encontram,
26 pois, conforme discussão de Gomes et al (2017), mesmo que um ou outro manejo beneficiem a
27 concentração dos ácidos húmicos, a diversidade microbiana junto a fatores climáticos, podem
28 catalisar ou não, a mudança de conformação destes ácidos e assim, diminuir ou aumentar a suas
29 reatividades. Nesse sentido, fazendo-os, interagir mais intensamente – ou não com os elementos
30 do solo, o que poderia aumentar sua percolação.

31 Já a maior relação de EA:HU (Figura 4, F) no sistema PREP+ADV, indica
32 translocação das frações mais solúveis da matéria orgânica em profundidade (Fontana et al.,
33 2010) em comparação com os sistemas, PREP+CANA e PREP+SOJA. Portanto, evidenciando
34 a presença de substâncias húmicas de alta reatividade em profundidade nesse sistema (ADV).

3.4.2 EFEITOS DOS SISTEMAS DE REFORMA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os resultados da acidez (teores de Al^{3+} e H+Al), da V% e dos teores de Mg^{2+} (Figura 5, de A a D), podem ser atribuídos a aplicação de calcário em todas as áreas. Segundo Auler et al (2019), independente da forma de aplicação, incorporado ou superficial, os maiores efeitos da calagem concentram-se na camada mais superficial – no caso, de 0,00 – 0,10 m, na neutralização de acidez e aumento da V%.

A ausência de efeitos nestes atributos – de acidez, a vista do sistema de reforma com adubo verde, diverge de discussões presentes na literatura. Franchini et al (2003) e Dieh et al (2008), discutem que substratos orgânicos provenientes da biomassa vegetal intensificam a neutralização da acidez do solo; tanto pela complexação do alumínio, quanto pela diminuição da atividade de H^+ .

Sobre a condição de maior acidez ativa (pH) no sistema de reforma (SRF) com PREP+ADV (Figura 4, A), acredita-se que o processo de decomposição e mineralização do resíduo vegetal da *Crotalaria spectabilis*, promoveu acréscimos de íons H^+ na solução do solo (Castro; Crusciol, 2015; Zacheo et al., 2016). Já a superioridade da CTC no sistema PREP+ADV em comparação aos sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA (Figura 6, B) é relacionado ao aumento da fração orgânica (como discutido para teores de CO, AF e AH). Portanto, o aumento da fração orgânica em solos arenosos favorece acréscimos a CTC (Murphy, 2015).

Face aos resultados de pH e CTC, nota-se que mesmo que haja condições favoráveis a acidificação do solo pelo uso de adubos verdes, este impacto negativo passa a ser minimizado pelo aumento da CTC (aumento da reatividade do solo). Portanto, tal resultado aponta melhorias a um dos atributos que mais comprometem a agricultura em solos arenosos: a baixa retenção de cátions; indicando assim, a importância do uso de plantas de cobertura na reforma dos canaviais.

Quanto aos teores de Ca^{2+} e K^+ superiores no PREP+ADV, observa-se o potencial deste sistema na obtenção de teores adequados destes elementos em solos de baixa CTC. Além disso, estes resultados representam que adoção do manejo com adubos verdes podem possibilitar um desenvolvimento mais adequado a cana-de-açúcar, uma vez que K^+ e Ca^{2+} , são, respectivamente o 3º e 4º nutrientes mais exigidos pela cultura (Oliveira et al., 2010).

Nesse contexto, Crusciol et al (2014) discorrem que teores adequados de Ca^{2+} e K^+ tendem a assegurar aumento de produtividade. Posto as funções do K^+ , de atuar desde ativação enzimática, regulação estomática até o transporte de açúcares, e do Ca^{2+} , de ativador enzimático

1 e na estabilidade da parede celular, que assim, podem proporcionar um melhor desenvolvimento
2 da cultura.

3 Estes elevados teores de Ca^{2+} e K^+ no PREP+ADV correlacionam-se as
4 características das plantas de cobertura utilizada (*Crotalaria spectabilis*). O grande volume de
5 solo explorado pelas raízes, possibilita elevar absorção de nutrientes do solo, e, junto ao rápido
6 desenvolvimento da parte aérea, alta produção de biomassa e baixa relação C:N (Wutke et al.,
7 2014), isto acaba por acarretar, quando sob processo de decomposição e mineralização, o
8 retorno dos nutrientes para as camadas mais superficiais (Entz et al., 2011; Lynch, 2015).

9 Além do mais, possivelmente o aumento do carbono orgânico na área com adubo
10 verde (*Crotalaria spectabilis*) pelos seus efeitos a CTC (Costa et al., 2020), pode ter colaborado
11 para maior adsorção de Ca^{2+} e K^+ . Logo, o que corresponderia aos maiores teores destes
12 elementos no sistema de manejo PREP+ADV.

13 Para mais, é necessário considerar o histórico de aplicação de calcário. Referente a
14 calagem, esta prática eleva a disponibilidade de nutrientes (Auler et al., 2019), e assim, passa a
15 intensificar melhores condições de absorção de nutrientes por parte do adubo verde.
16 Conseqüentemente, o que também deve ter contribuído para maior extração e retorno dos
17 nutrientes – Ca e K, pelo processo de ciclagem.

18 Em relação aos sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+SOJA os quais
19 apresentaram os menores teores de Ca e K, considera-se que, para o sistema PREP+CANA, o
20 manejo exercido neste sistema interfere na ausência de cobertura vegetal durante o plantio,
21 promovendo então, aumento no potencial de perdas de nutrientes, principalmente pelo
22 escoamento superficial (Silva et al., 2012). Para o sistema PREP+SOJA, talvez a exportação
23 de Ca e K pelos grãos seja a razão dos menores teores; posto que, K e Ca, representam o 2º e
24 6º nutrientes, respectivamente, mais exportados pela cultura (Kurihara et al., 2013).

25 Acerca dos melhores resultados de disponibilidade de fósforo nos sistemas
26 PREP+CANA e PREP+SOJA (Figura 6, E), percebe-se um aspecto positivo destes sistemas em
27 comparação com o sistema PREP+ADV. O que pode sugerir um melhor aproveitamento deste
28 elemento pela adoção destes manejos na reforma do canavial; dado este importante, tendo que
29 o fósforo é um dos elementos mais limitantes em solos tropicais (Soltangheisi et al., 2019b).

30 Todavia, apesar deste aspecto positivo pelos sistemas de manejo, PREP+CANA e
31 PREP+SOJA na disponibilidade de fósforo, tem-se que o viés da menor disponibilidade de
32 fósforo no sistema PREP+ADV pode ter origem nos efeitos da biomassa em decomposição.
33 Baseado no resultado de que o sistema de manejo PREP+ADV foi o qual apresentou a condição
34 de maior acidez (Figura 5, A), observa-se que este aumento da acidez gera, portanto, aumento

1 da capacidade de troca de ânions, simultaneamente, a elevação da concentração de fósforo na
2 forma de H_2PO_4^- (Sposito, 2008). Logo, condições favoráveis a reações de troca de ligantes
3 com óxidos de Fe e Al, e grupos silanol e aluminol nas bordas de argilominerais (Guppy et al.,
4 2005; Santos et al., 2008). Por fim, o que diminui a disponibilidade fósforo no solo.

5 Para mais, os altos teores de CO no sistema PREP+ADV, pode constituir uma fonte
6 de fósforo ao longo do tempo. Como discutido por Santos et al (2008) a matéria orgânica
7 constitui uma das principais fontes de fósforo, e que, sendo assim, solos com baixos teores de
8 fósforo possuem menor capacidade do suprimento do elemento as culturas e são mais
9 dependentes de fontes externas (i.e., de fertilizantes).

10 De outra maneira, manejos que visam incrementos de matéria orgânica, permitem
11 maior ação de ácidos orgânicos na competição por sítios de adsorção com fósforo, além de
12 elevar a atividade enzimas solubilizadoras de fosfato (Soltangheisia et al., 2019). Por
13 conseguinte, o que promove acréscimos nos teores de fósforo disponíveis as plantas. Nesse
14 contexto, é perceptível que sistemas de manejo, PREP+ADV, no período de reforma, elevem o
15 fornecimento de fósforo ao longo do tempo para a cultura.

16

17 **3.4.3 RELAÇÃO AS ENTRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E A FERTILIDADE DO SOLO**

18

19 Sobre os efeitos dos teores de CO e das SH nos atributos químicos do solo (Figuras
20 7 e 8), é necessário considerar que tais efeitos estejam relacionados as propriedades da fração
21 orgânica, como: alta área de superfície específica (ASE), baixa constante de dissociação dos
22 grupos funcionais orgânicos (principalmente, ácidos carboxílicos (R-COOH), mas também, dos
23 álcoois (R-OH) e fenólicos (feno-OH)) e o baixo ponto de carga zero (PCZ) (Sposito, 2008;
24 Alleoni et al., 2009). Estas propriedades conferem a matéria orgânica elevada reatividade e
25 capacidade de interação com as cargas positivas e negativas do complexo de troca, além da
26 interação com íons determinadores de potencial (H^+ e OH^-) (Jardine et al., 1989; Kretzschmar
27 et al., 1993). Portanto, nota-se que o CO e as SH podem interferir no balanço cargas e na geração
28 de cargas negativas nas partículas; visto, as correlações, negativas com ΔpH e PCZ, e positiva
29 com a CTC.

30 Assim sendo, as correlações referidas anteriormente, corroboram a hipótese do
31 aumento da reatividade de solos arenosos sob ação das SH e, por conseguinte, melhoria desses
32 solos pela matéria orgânica. Dessa forma, espera-se que práticas de manejo que elevam o input
33 de carbono, como o uso de adubos verde (Zontarelli et al., 2012), podem ser consideradas
34 “melhoradoras” do solo, e assim, propiciarem um manejo mais sustentável.

1 Em relação ao aumento da eletronegatividade do ▲pH e redução PCZ (Figura 6,
2 de A a D; de E a H), visto as correlações negativas com os AF e AH, tal resultado pode ser
3 atribuído ao acréscimo de cargas negativas na superfície das partículas, pois isto acarretaria a
4 neutralização de cargas positivas do complexo sortivo, provavelmente em função da interação
5 entre a fração orgânica e a mineral. O baixo pKa dos grupos funcionais orgânicos favoreceria
6 o aumento de cargas negativas. Sendo assim, estes fatores poderiam alterar o balanço de carga,
7 afetando o ponto isoelétrico, e, portanto, diminuindo o PCZ (Tombaz et al., 2004).

8 Sobre a correlação negativa da acidez ativa (pH) (Figura 6, de I a L) com as frações
9 mais reativas, os AF e AH, possivelmente este resultado esteja ligado a dissociação de íons H^+
10 dos grupos funcionais orgânicos. Logo, isto elevaria a atividade dos íons H^+ na solução do solo,
11 resultando em reduções no pH. Já a associação positiva da acidez potencial ($H+Al$) (Figura 6,
12 de M a P) com aumento do CO e as SH (AF, AH e HU) pode ser atribuída que, devido a redução
13 do PCZ e aumento da eletronegatividade da superfície das partículas, isto tenha possibilitado
14 acréscimos na adsorção de íons H^+ no complexo de troca, dissociados dos grupos funcionais
15 orgânicos.

16 O aumento da CTC, independente da SH envolvida (Figura 8, de A a D), pode ser
17 relacionado aos fatores já discutidos para as correlações entre ▲pH e PCZ e as SH. Contudo, é
18 importante ressaltar que resultados como este, reiteram ser a manutenção e a adição de matéria
19 orgânica em solos arenosos, fundamental para as práticas agrícolas (Obalum et al., 2017; Yost;
20 Hartemink, 2019), mediante a baixa CTC destes solos (Murphy, 2015).

21 A correlação positiva entre CO e SH para com os teores de K^+ (Figura 6, de E a H),
22 sugere uma menor perda de K^+ sob condições de elevados teores de matéria orgânica, em solos
23 de baixa CTC. Esta associação, talvez se deve a presença de cargas negativas na estrutura das
24 substâncias húmicas – como discutido anteriormente, e assim, de forma indireta,
25 proporcionando associação positiva entre teores de K^+ e SH.

26 Outra hipótese para esta associação, tange a interação preferencial das SH com
27 cátions polivalentes (eg., Ca^{2+} e Mg^{2+}) (Duiker & Beegle, 2006). Possivelmente, a neutralização
28 de cargas destes íons polivalentes pelas SH (Franchini et al., 2003) tenha acarretado,
29 preferencialmente a lixiviação destes cátions. Sendo assim, o K^+ em solução seria atraído pelas
30 cargas negativas dos ácidos orgânicos adsorvidos nas partículas do solo. Logo, o que poderia
31 ter gerado esta correlação positiva.

32 Sobre a relação inversa, aumento de CO, AF e AH e diminuição dos teores de
33 fósforo disponível (Figura 8, de I a L), tal associação negativa é divergente das discussões
34 presentes na literatura, relatadas por Hue (1991), Guppy et al (2005) e Cessa et al (2010). Os

1 autores mencionam aumento da disponibilidade de fósforo em função do aumento da matéria
2 orgânica; por efeito de mecanismos de competição, bloqueio e dessorção de fósforo por parte
3 dos ácidos orgânicos no complexo de troca.

4 Assim, esta correlação negativa sugere a retenção do fósforo via pontes de cátions
5 (com Al, Fe ou Ca) formadas pelas SH em interação com a superfície dos coloides (Villapando;
6 Graetz, 2001). No entanto, é passível também que, dado a circunstância das SH terem um curto
7 espaço de tempo no solo (Dieh et al, 2008), logo com a degradação destas substâncias o fósforo
8 seja liberado, e com isso, passível de absorção pela cultura.

9 Pois, conforme ressaltam Pavinato e Rosolem (2008), os ácidos orgânicos podem
10 retardar o processo de fixação do fósforo em solos tropicais, tornando-o mais sujeito a absorção.
11 Dessa forma, pode-se inferir que esta correlação negativa aponte para uma reserva lábil de
12 fósforo, que com o processo de mineralização da matéria orgânica, constituirá em uma fonte de
13 fósforo para a cana-de-açúcar; o que, mitiga o aspecto negativo da correlação.

14 15 **3.5 CONCLUSÃO**

16
17 Concluimos que o sistema de manejo, PREP+ADV, no período de reforma de
18 canaviais, em solos arenosos, aumenta a reatividade do solo; colabora para o incremento dos
19 teores de substâncias húmicas (CO, AF, AH e HU) e para melhoria da qualidade da matéria
20 orgânica pela maior relação EA:HU. Além disso, contribui para maiores teores de Ca^{2+} e K^+ , e
21 CTC.

22 Há também, que este incremento de CO e das SH, associa-se ao aumento da geração
23 de cargas negativas (ΔpH , PCZ e CTC) e na adsorção de K^+ ; o que indica melhorias a
24 reatividade de solos arenosos.

25 26 **3.6 AGRADECIMENTOS**

27
28 Ao programa de pós-graduação em agronomia da Universidade Estadual de
29 Londrina, à CAPES pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor, e ao CNPq pela
30 concessão de bolsa produtividade ao último autor.

31 Também, aos Professores Drs. Antônio Carlos Azevedo e Mauricio Roberto
32 Cherubin, ambos da Esalq-USP, pelo apoio e execução das análises mineralógicas, realizadas
33 no Laboratório de Gênese de Solo, da Esalq-USP.

3.7 APÊNDICES

APÊNDICE 1

Tabela 2. Resumo do teste F (p-valor < 0,05) para as variáveis testadas.

Variável	Unidade	p-valor	CV (%)
COT	g dm ⁻³	0,00005	8,01 %
AF	g dm ⁻³	0,00002	19,05 %
AH	g dm ⁻³	0,00002	19,85 %
HU	g dm ⁻³	0,00396	17,11 %
AH:AF		0,48685	20,34 %
EA:HU		0,00003	18,30 %
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,92847	89,48 %
H+Al	cmol _c dm ⁻³	0,07877	22,67 %
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,06592	25,47 %
V	%	0,11936	19,18 %
pH	Log - [H ⁺]	0,03819	6,01 %
CTC	cmol _c dm ⁻³	0,00829	13,11 %
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00512	22,74 %
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00002	22,12 %
P disponível	mg dm ⁻³	0,00078	43,86 %

Apêndice 2

Tabela 3. Resumo da correlação de Pearson para relação entre as substâncias húmicas e os atributos químicos. Correlações significativas (p-valor): (*) < 0,05; (**) < 0,01; (***) < 0,001; e, NS, Não Significativo.

	▲pH	PCZ	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V%	P-disp.
COT	-0,45*	-0,53*	-0,35 ^{NS}	0,61*	0,13 ^{NS}	0,42 ^{NS}	-0,08 ^{NS}	0,88***	0,78***	-0,07 ^{NS}	-0,83***
AF	-0,50*	-0,61*	-0,45*	0,61*	0,30 ^{NS}	0,25 ^{NS}	-0,24 ^{NS}	0,91***	0,67**	-0,23 ^{NS}	-0,63**
AH	-0,53*	-0,70**	-0,57*	0,66**	0,30 ^{NS}	0,36 ^{NS}	-0,27 ^{NS}	0,94***	0,76***	-0,22 ^{NS}	-0,69**
HU	0,15 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,50*	0,34 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,55*	0,62*	-0,01 ^{NS}	-0,40 ^{NS}

3.8 REFERÊNCIAS

- Alleoni, L.R.F., Mello, J.W.V., Rocha, W.S.D. 2015. Eletroquímica, adsorção e troca iônica, in: Alleoni, L.R.F., Mello, V.F. (Eds). **Química e mineralogia do solo – parte 2: aplicações**. Viçosa, SBCS, pp.70–122.
- Auler, A. C., Caires, E. F., Pires, L. F., Galetto, S. L., Romaniw, J., Charnobay, A. C. (2019). Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, 330 ;20-30 <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00206>.
- Benites, V. M., Madari, E. M., Machado, P. L. O. (2003). Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, (Comunicado Técnico).
- Bolonhezi, D., Gonçalves, N. H. (2015). Rotação de culturas. In: Belardo, G. C., Cassia, M. T., Silva, R. P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1 ed. – Jaboticabal: SBEA, p.219-242. Donizeti, J. A. C. (Org.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ed.Brasília - DF: Embrapa, v. 1, p. 59-167.
- Brandan, C. P., Chavarría, D., Huidobro, J., Meriles, J. M., Brandan, C. P., Gil, S.V. (2017). Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. **European Journal of Soil Biology**, 83, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.10.009>.
- Canellas, L. P., Busato, J. G., Dobbss, L. B., Baldotto, M. A., Rumjanek, V. M. and Olivares, F. L. (2010), Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, 61: 375-383. doi:10.1111/j.1365-2389.2010.01229.x
- Castro, G. S. A., Crusciol, C. A. Costa. (2015). Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. **Bragantia**. 74, 3, 311-321. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0346>.
- Cessa, R. M. A., Vitorino, A. C. T., Celi, L., Novelino, J. O., Barberis, E. (2010). Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2010, vol.34, n.5, pp.1535-1542. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000500006>.
- Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Oliveira, D. M. S., Davies, C. A., Cerri, C. C. (2015). Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 211, 173-184, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.006>.

- 1 CIIAGRO, Centro integrado de informações agrometeorológicas (Acesso em 24 de julho de
2 2019). Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/climasp.html>
3
- 4 Crusciol, C. A. C. et al. Effects of surface application of calcium-magnesium silicate and
5 gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p.
6 1843-1854. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600019>.
7
- 8 Dick, D. P., Novotny, E., Diekow, J., Bayer, C. (2009). Química da Matéria Orgânica do Solo.
9 In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds). (Org.). **Química e Mineralogia do Solo: Parte II**
10 **- Aplicações**. 1ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 1-68.
11
- 12 Dieckow, J., Bayer, C., Conceição, P. C., Zanatta, J. A., Martin-Neto, L., Milori, D. B., Salton,
13 J. C., Macedo, M. M., Mielniczuk, J., Hernani, L. C. (2009). Land use, tillage, texture and
14 organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European**
15 **Journal of Soil Science**, 60: 240-249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x>
16
- 17 Diehl, R. C., Miyazawa, M., Takahashi, H. (2008). Compostos orgânicos hidrossolúveis de
18 resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência**
19 **do Solo**, 32, 2653-2659. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700007>
20
- 21 Donagemma, G. K.; Freitas, P. L. de; Balieiro, F. de C.; Fontana, A.; Spera, S. T.; Lumbreras,
22 J. F.; Viana, J. H. M.; Araujo filho, J. C. de; Santos, F. C. dos; Albuquerque, M. R. de; Macedo,
23 M. C. M.; Teixeira, P. C.; Amaral, A. J.; Bortolon, E.; Bortolon, L. Caracterização, potencial
24 agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesq. agropec. bras.** [online]. 2016,
25 vol.51, n.9, pp.1003-1020. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001>.
26
- 27 Duiker, S. W., Beegle, D. B. (2006). Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk
28 and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, 88, 1-2, 2006, 30-41.
29 <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.04.004>.
30
- 31 Fernandes, C., Cora, J. E., Marcelo, A. V. (2012). Soil uses in the sugarcane fallow period to
32 improve chemical and physical properties of two latosols (oxisols). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
33 Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100029>.
34
- 35 Fontana, A., Pereira, M. G., Anjos, L. H. C., Benites, V. M. (2010). Quantificação e utilização
36 das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos
37 Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(4), 1241-1257.
38 <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400023>
39
- 40 Franchini, J. C., Campo, C. B. H., Torres, E., Miyazawa, M.; Pavan, M. A. (2003). Organic
41 composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid
42 oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 34:13-14, 2045-2058, DOI:
43 10.1081/CSS-120023237
44

- 1 Franchini, J.C., Debiasi, H., Balbinot Junior, A.A., Tonon, B.C., Farias, J.R.B., Oliveira,
2 M.C.N., Torres, E., (2012). Evolution of crop yields in different tillage and growing systems
3 over two decades in Southern Brazil. **Field Crops Research**, v.137, p. 178-185, 2012.
4 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.003>.
- 5
- 6 Guimarães, D. V., Gonzaga, M. I. S., Silva, T. O., Silva, T. L., Dias, N. S., Matias, M. I. S.
7 (2013). Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses, **Soil**
8 **and Tillage Research**, Volume 126, 177-182, <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.010>.
- 9
- 10 Guppy, C. N., Menzies, N. W., Moody, P. W., Blamey, F. P. C. (2005). Competitive sorption
11 reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Aust J Soil Res**, 43:2, 189.
12 <https://doi.org/10.1071/SR04049>
- 13
- 14 Hoarau, J., Caro, Y., Grondin, I., Petit, T. (2018). Sugarcane vinasse processing: Toward a
15 status shift from waste to valuable resource. A review. **Journal of Water Process Engineering**,
16 24, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.05.003>
- 17
- 18 Hue, N. Effects of Organic Acids/Anions on P Sorption and Phytoavailability in Soils With
19 Different Mineralogies. **Soil Science**. 152(6). 1991. DOI: 10.1097/00010694-199112000-
20 00009
- 21
- 22 IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. BDIA, Banco de dados de informações
23 ambientais. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia> > [Acesso em
24 24 de julho de 2019].
- 25
- 26 Jardine, P. M., J. F. McCarthy, and N. L. Weber. (1989). Mechanisms of Dissolved Organic
27 Carbon Adsorption on Soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53:1378-1385.
28 doi:10.2136/sssaj1989.03615995005300050013x
- 29
- 30 Kretzschmar, R., W. P. Robarge, S. B. Weed. (1993). Flocculation of Kaolinitic Soil Clays:
31 Effects of Humic Substances and Iron Oxides. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57:1277-1283.
32 doi:10.2136/sssaj1993.03615995005700050019x
- 33
- 34 Kurihara, C. H., Venegas, V. H. Al., Neves, J. C. L., Novais, R. F. (2013). Acúmulo de matéria
35 seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Rev. Ceres**. vol.60, n.5, 690-
36 698. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000500013>.
- 37
- 38 Lynch, D. H (2015). Nutrient Cycling and Soil Health in Organic Cropping Systems -
39 Importance of Management Strategies and Soil Resilience. **Sustainable Agriculture**
40 **Research**; Vol. 4, No. 3. <http://dx.doi.org/10.5539/sar.v4n3p80>
- 41
- 42 Maluf, H. J. G. M., Soares, E. M. B., Silva, I. R., Neves, J. C. L., Silva, M. F. O. (2015).
43 Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes

- 1 texturas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1690-1702.
2 <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140658>.
- 3
- 4 Mamedov, A. I., Bar-Yosef, B., Levkovich, I., Rosenberg, R., Silber, A., Fine, P., and Levy, G.
5 J. (2016). Amending Soil with Sludge, Manure, Humic Acid, Orthophosphate and Phytic Acid:
6 Effects on Infiltration, Runoff and Sediment Loss. **Land Degrad. Develop.**, 27: 1629– 1639.
7 doi: 10.1002/ldr.2474.
- 8
- 9 Martins Filho, M.V., Liccioti, T.T., Pereira, G.T., Marques, J.J., Sanchez, R.B., 2009. Perdas
10 de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Eng.**
11 **Agríc.**, 29:1, 8-18. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000100002>
- 12
- 13 Martins Gomes, E. T., Berbara, R. L. L., Pereira, M. G., et al. (2016). Effects of farmed
14 managements in sandy soils on composition and stabilization of soil humic substances. **Land**
15 **Degrad Dev.** 29: 68– 79. <https://doi.org/10.1002/ldr.2839>
- 16
- 17 Mehnaz, K. R., Corneo, P. E., Keitel, C., Dijkstra, F. A. (2019). Carbon and phosphorus
18 addition effects on microbial carbon use efficiency, soil organic matter priming, gross nitrogen
19 mineralization and nitrous oxide emission from soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 134, 175-
20 186. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.003>.
- 21
- 22 Mendes, I. C., Sousa, D. M. G., Reis-Junior, F.B., Lopes, A. A. C., Souza, L.M., Chaer, G. M.
23 (2019). Bioanálise de Solo: Aspectos Teóricos e Práticos. **Tópicos Em Ciência Do Solo**, v. X,
24 p. 399-462, 2019
- 25
- 26 Mendonça, E. S., Rowell, D. L., Martins, A. G., Silva, A. P. (2006). Effect of pH on the
27 development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil,
28 **Geoderma**, 132, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.05.001>.
- 29
- 30 Moitinho, M. R., Padovan, M. P0., Panosso, A. R., La Scala Jr, N. (2013). Efeito do preparo do
31 solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
32 vol.37, n.6, 1720-1728. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600028>.
- 33
- 34 Murphy B. W. (2015) Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis
35 on Australian soils. **Soil Research** 53, 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
- 36
- 37 Nunes, J. S., Araújo, A. S. F., Nunes, L.A.P.L., Lima, L.M., Carneiro, R.F.V. Salviano, A.A.C.,
38 Tsai, S.M. (2012). Impact of Land Degradation on Soil Microbial Biomass and Activity in
39 Northeast Brazil, **Pedosphere**, Volume 22, 88-95, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60194-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60194-X).
- 40
- 41
- 42 Obalum, S., Chibuike, G., Peth, S., Ouyang, Y. (2017). Soil organic matter as sole indicator of
43 soil degradation. **Environmental Monitoring and Assessment**, 189(4), 176. [https://doi-
44 org.ez78.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-017-5881-y](https://doi-org.ez78.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-017-5881-y)

- 1 Oliveira, E.C.A., Freire, F.J., Oliveira, R.I., Freire, M.B.G.S., Simões Neto, D.E., Silva,
2 S.A.M., 2010. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas
3 sob irrigação plena. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, 34:4, 1343-1352.
4 <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400031>
5
- 6 Pavinato, P.S., Rosolem, C.A. (2008). Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e
7 liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, 32:3, 911-920.
8 <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>
9
- 10 Ramos, N. P., Yamaguchi, C.S., Pires, A. M. M., Rossetto, R., Possenti, R. A., Packer, A. P.
11 C., Cabral, O. M. R., Andrade, C.A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em
12 diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1492-
13 1500, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900048>
14
- 15 Ross, J., Moroz, I. (2011). Mapa Geomorfológico Do Estado De São Paulo. Revista Do
16 Departamento De Geografia, 10, 41-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>
17
- 18 Santos, D. R., Gatiboni, L. C., Kaminski, J. (2008). Fatores que afetam a disponibilidade do
19 fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Cienc. Rural**
20 vol.38, n.2, pp.576-586. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.
21
- 22 Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J.
23 F.; COELHO, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J.
24 F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa,
25 2018.
26
- 27 Santos, L. L., Lacerda, J. J. J., Zinn, Y. L. (2013). Partição de substâncias húmicas em solos
28 brasileiros. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.37, n.4, pp.955-968. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400013>.
29
30
- 31 Schmidt, M.W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber,
32 M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S.,
33 Trumbore, S.E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**.
34 p., 2011. doi:10.1038/nature10386.
35
- 36 Silva, A. P., Babujia, L. C., Franchini, J. C., Ralisch, R., Hungria, M., Guimarães, M. F. (2014).
37 Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management
38 systems. **Soil and Tillage Research**, Volume 142, 42-53,
39 <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>.
40
- 41 Silva, Gilka Rocha Vasconcelos da et al (2012). Soil, water and nutrient losses by interrill
42 erosion from green cane cultivation. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 963-970,
43 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300026>.
44

- 1 Silva, R. P., Fernandes, C. (2014). Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on
2 soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
3 Viçosa, v. 38, n. 2, p. 575-584, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200022>.
4
- 5 Soltangheisi, A., Moraes, M. T., Cherubin, M. R., Alvarez, D. O., Souza, L. F., Bieluczyk, W.,
6 Navroski, D., Teles, A. P. B., Pavinato, P. S., Martinelli, L. A., Tsai, P. B. Camargo (2019).
7 Forest conversion to pasture affects soil phosphorus dynamics and nutritional status in Brazilian
8 Amazon, **Soil and Tillage Research**, 194. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104330>.
9
- 10 Soltangheisi, A., Withers, P. J. A., Pavinato, P. S., et al. (2019). Improving phosphorus
11 sustainability of sugarcane production in Brazil. **GCB Bioenergy**. 11: 1444– 1455. [https://doi-
12 org.ez78.periodicos.capes.gov.br/10.1111/gcbb.12650](https://doi-org.ez78.periodicos.capes.gov.br/10.1111/gcbb.12650)
13
- 14 Tombácz, E., Libor, Z., Illés, E., Majzik, A., Klumpp, E. (2004). The role of reactive surface
15 sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles,
16 **Organic Geochemistry**, 35, 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2003.11.002>.
17
- 18 Villapando, R.R., D.A. Graetz. (2001). Phosphorus Sorption and Desorption Properties of the
19 Spodic Horizon from Selected Florida Spodosols Journal. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65:331-339.
20 doi:10.2136/sssaj2001.652331x
21
- 22 Wutke, E. B., Calegari, A., Wildner, L. P. (2014) Espécies de adubos verdes e plantas de
23 cobertura e recomendações para seu uso. In: Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F.
24 Donizeti, J. A. C. (Org.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos
25 e prática**. 1ed.Brasília - DF: Embrapa, v. 1, p. 59-167.
26
- 27 Kuzyakov, Yakov (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic matter.
28 **Soil Biology and Biochemistry**, 42, 1363-1371. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>.
29
- 30 Yost, J. L., Hartemink, A. E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances
31 in Agronomy**. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004> .
32
- 33 Zani, C. F., Barneze, A. S., Robertson, A. D., Keith, A. M., Cerri, C. E. P., McNamara, N. P.,
34 Cerri, C. C. (2018). Vinasse application and cessation of burning in sugarcane management can
35 have positive impact on soil carbon stocks. **PeerJ** 6:53-98 <https://doi.org/10.7717/peerj.5398>
36
- 37 Zinn, Y. L., R. Lal, J. M. Bigham, and D. V. S. Resck. 2007. Edaphic Controls on Soil Organic
38 Carbon Retention in the Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**
39 71:1204-1214. doi:10.2136/sssaj2006.0014
40
- 41 Zotarelli, L., Zatorre, N. P., Boddey, R. M., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Franchini, J. C., Alves,
42 B. J. R. (2012). Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop
43 rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**,
44 Volume 132, 185-195, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>.

1 **4. ARTIGO B: ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS ARENOSOS SOB**
2 **DIFERENTES MANEJOS NA REFORMA CONVENCIONAL CANAVIEIRA**

3
4
5 **HIGHLIGHTS**

- 6
7 • O uso de adubo verde pós preparo convencional mitiga a degradação física do solo;
8
9 • A redução na densidade e aumento na porosidade é favorecida pelo adubo verde;
10
11 • A utilização da soja ou do adubo verde favorecem a agregação do solo;
12
13 • Melhorias aos atributos físicos são correlacionadas com aumento de carbono;
14
15 • Sistemas de manejo com cana e soja pós preparo convencional são mais semelhantes.
16
17
18

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalária e soja na reforma convencional canavieira**
2 **em solos arenosos: um estudo de caso.** 2021. 175 f. Tese de Doutorado em Agronomia –
3 Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

4

5

RESUMO

6

7 Posto que os atributos físicos do solo possuem influência direta no fluxo de ar e água no
8 ambiente edáfico, a manutenção das boas condições físicas do solo é essencial para produção
9 agrícola. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos nos atributos físicos de
10 solos arenosos sob diferentes manejos na reforma convencional canavieira. Para isso, sob
11 condições de Argissolo Vermelho distrófico arênico, foram comparadas após 36 meses do
12 período de reforma, três áreas sob diferentes sistemas de manejo na reforma convencional,
13 sendo estas: i) Preparo Convencional + Cana (PREP+CANA); ii) Preparo Convencional +
14 Adubo Verde (*Crotalária spectabilis*) (PREP+ADV); e, iii) Preparo Convencional + Soja
15 (PREP+SOJA). Os resultados na camada de 0 – 40 cm, demonstraram que o sistema
16 PREP+ADV mitiga a degradação dos atributos físicos do solo, em função dos menores valores
17 de densidade do solo e maior porosidade; total, macroporosidade e microporosidade. Além
18 disso, este sistema, PREP+ADV, e o sistema PREP+SOJA, são os quais proporcionam os
19 melhores índices de estabilidade de agregados. Quanto ao sistema PREP+CANA, este por sua
20 vez, de maneira semelhante o sistema PREP+ADV, acarreta o maior acúmulo de carbono
21 orgânico no solo. Já para a resistência a penetração, não há diferença entre os sistemas de
22 manejo. Para mais, a melhoria dos atributos físicos do solo está correlacionada ao aumento dos
23 teores de carbono no solo. E pelas análises multivariadas (cluster e componentes principais) foi
24 constatado que o sistema PREP+ADV se contrasta aos sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA,
25 em razão dos seus benefícios aos atributos físicos do solo. Assim, concluímos que o sistema
26 PREP+ADV promove as melhores condição aos atributos físicos de solos após o período de
27 reforma canavieiro.

28

29 **Palavras-chaves:** densidade do solo, porosidade, agregação, carbono orgânico, resistência a
30 penetração.

31

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalaria and soybean in conventional sugarcane**
2 **reform in sandy soils: a case study**. 2021. 175 sheets. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State
3 University of Londrina, Londrina, 2021

4 5 **ABSTRACT**

6
7 Since the physical attributes of the soil have a direct influence on the flow of air and water in
8 the edaphic environment, the maintenance of good physical soil conditions is essential for
9 agricultural production. In this sense, the objective of this research was to analyze the effects
10 on the physical attributes of sandy soils under different managements in conventional sugarcane
11 reform. For this, under Kanhaplic Haplustults (Utiisol), three areas under different management
12 systems in conventional reform were compared 36 months after the reform period, namely: i)
13 Conventional Preparation + Sugarcane (PREP+CANA); ii) Conventional Preparation + Green
14 Fertilizer (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); and iii) Conventional Preparation + Soybean
15 (PREP+SOYBEAN). The results in the 0 – 40 cm layer showed that the PREP+ADV system
16 mitigates the degradation of the physical attributes of the soil, due to the lower values of soil
17 density and greater porosity: total, macroporosity and microporosity. Furthermore, this system,
18 PREP+ADV, and the PREP+SOYBEAN system, are the ones which provide the best aggregate
19 stability indexes. As for the PREP+CANA system, this in turn, similarly to the PREP+ADV
20 system, causes the greatest accumulation of organic carbon in the soil. As for penetration
21 resistance, there is no difference between the handling systems. Furthermore, the improvement
22 of soil physical attributes is correlated with the increase in soil carbon content. And by the
23 multivariate analyzes (cluster and principal components) it was found that the PREP+ADV
24 system contrasts with the PREP+CANA and PREP+SOYBEAN systems, due to its benefits to
25 the physical attributes of the soil. Thus, we conclude that the PREP+ADV system promotes the
26 best conditions for the physical attributes of soils after the sugarcane reform period.

27
28 **Keywords:** soil density, porosity, aggregation, organic carbon, penetration resistance.

29
30
31
32

4.1 INTRODUÇÃO

Os atributos físicos do solo correspondem a fatores diretos relacionados ao fluxo de água e ar no ambiente edáfico, ou seja, de elementos vitais para as culturas. Assim, percebe-se que a manutenção das boas condições físicas do solo é essencial para a produção agrícola. E que, portanto, exerce função fundamental para a segurança alimentar da sociedade (Rabot et al., 2018).

Sob este aspecto, quando tratado da produção agrícola em solos arenosos, tem-se que práticas de manejo inadequadas tendem a comprometer de forma mais intensa os atributos físicos destes solos, ao compará-los com os solos argilosos (Huang & Hartemink, 2020). Em razão da baixa resiliência e resistência de solos arenosos, devido a suas características de baixa reatividade, práticas de manejo que comprometem sua porosidade e favoreçam o arraste de partículas, exprimem de forma rápida a perda da capacidade produtiva desses solos (Yost & Hartemink, 2019).

Nesse contexto, tal questão demonstra relevância para exploração sucroenergética no Brasil. Segundo Cherubin et al (2021), a cana-de-açúcar nos últimos 10 anos tem ocupado áreas de solos arenosos e de pastagens degradadas. Além disso, a cultura é majoritária nas regiões de solos arenosos nos estados de São Paulo, Paraná, Goiás e Minas Gerais (Trindade & Castro, 2015). Dessa forma, a sustentabilidade para produção de etanol, energia e açúcar, tangem a ações de manejo que presumam a qualidade dos atributos físicos do solo.

Atualmente, dado a viabilidade econômica da cana-de-açúcar, as maiores intervenções nos atributos do solo a fim de melhorá-las, ocorrem somente após cinco ou mais ciclos de colheita. As operações são então direcionadas ao revolvimento do solo e uso de subsoladores; operações estas, denominadas de preparo convencional. Conforme Coleti (2010), a execução destas operações tem como objetivo a redução da compactação do solo, pela promoção de fissuras e redução dos agregados. Tendo assim, o aumento da aeração e infiltração de água no solo.

Assim, após o preparo convencional, são desempenhados três sistemas de manejo durante a reforma do canavial: o plantio da cana-de-açúcar; o cultivo da soja; ou, do uso de adubos verdes, como a *Crotalaria spectabilis* (Bolonhezi & Gonçalves, 2015). O uso de um dos sistemas de manejo durante a reforma convencional, dependerá dos custos envolvidos e do tempo disponível para execução de cada um dos sistemas.

O plantio da cana-de-açúcar, logo após o preparo convencional, proporciona agilidade quanto a colheita da cultura para próxima safra. No entanto, exime os benefícios da

1 rotação de culturas no solo (Ambrosani et al., 2015). Já o cultivo da soja, representa ganhos
2 financeiros a cadeia sucroenergética e para o complexo soja; tanto pelo aumento da produção
3 da oleaginosa sem a necessidade incorporação de novas áreas, como pelo ganho financeiro
4 gerado as usinas pelo arrendamento de terras a sojicultura.

5 Quanto ao uso de adubos verdes, o aumento de matéria orgânica gerada por estas
6 plantas, compreende o seu maior benefício ao solo. Estudos de Bordonal et al (2018) e Tenelli
7 et al (2019) concluíram que a utilização da *crotalaria spectabilis* na reforma canavieira elevou
8 os teores de carbono orgânico em solos arenosos. Com isso, o que poderia promover influências
9 positivas as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

10 Portanto, posto estes três sistemas de manejo usados atualmente na reforma
11 canavieira, tem-se uma questão: quais destes sistemas de manejo poderia promover as melhores
12 condições aos atributos físicos de solos arenosos após o período de reforma? As respostas para
13 esta pergunta, tem então, a elevar sustentabilidade da produção canavieira em solos arenosos.

14 Acerca desta questão, possivelmente o sistema de manejo com adubos verdes
15 poderia ser uma alternativa em solos arenosos. Pois, o uso de adubos verdes tem como
16 principais efeitos, o aumento da matéria orgânica no solo, assim, proporcionar interações netre
17 a fração mineral e orgânica (Poeplau & Don, 2015; Silva et al., 2020).

18 Devido à alta interação da matéria orgânica com a água e a fração mineral, isto
19 tende a proporcionar redução da taxa de lubrificação das partículas; influência aos limites de
20 consistência, aumentando as condições de friabilidade; aumento nos pontos de contato entre as
21 partículas minerais; e, aumento no grau de elasticidade do solo (Soane, 1990; Hillel, 1998;
22 Zhang et al., 1997; 2005; Braida et al., 2006; 2007; 2008; Vasconcellos et al., 2010; Reichert
23 et al., 2018).

24 Portanto, fatores que convergem para manutenção do espaço poroso e da mitigação
25 do aumento da densidade do solo. Por conseguinte, aspectos favoráveis para o maior
26 enraizamento das culturas (Suzuki et al., 2019). Então, o aumento da matéria orgânica em solos
27 arenosos poderia competir para melhoria dos atributos físicos, atenuando assim, a degradação
28 dos atributos do solo ao longo dos ciclos de colheita.

29 Assim, neste contexto, testou-se a hipótese que o uso de adubo verde proporciona
30 as melhores condições para os atributos físicos do solo. Com objetivo de analisar os efeitos nos
31 atributos físicos de solos arenosos sob diferentes manejos na reforma convencional canavieira.

32
33
34

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 REGIÃO DE ESTUDO E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

O estudo foi conduzido na região noroeste do Estado de São Paulo, em áreas situadas no município de Valparaíso, sob Argissolo Vermelho distrófico arênico. O bioma da região é do tipo cerrado (Viadanna; Cavalcanti, 2007) e o clima, de acordo com Köppen, classificado como Aw – tropical úmido com inverno seco. A temperatura anual apresenta máxima, média e mínima, respectivamente de 31°C, 24°C e 18 °C. E a precipitação anual volume de 1200 a 1500 mm, com o mês mais seco precipitação inferior a 60 mm (Agritempo, 2019) (Figura 1, A). O balanço hídrico do município demonstra que de abril a dezembro há presença de déficit hídrico (Figura 1, B).

A formação geológica da região é constituída pelo Grupo Bauru, formação Araçatuba, que pertence a Bacia Sedimentar do Paraná; caracterizada como Planalto Ocidental Paulista, com litologia dominante de Arenitos de siltitos e argilitos (Ross; Moroz,1999; IBGE, 2019). Quanto a mineralogia, foram identificados – em ordem decrescente, a presença dos seguintes minerais: quartzo > caulinita > goethita > gibbsita = hematita (Figura 2, A e B).

4.2.2 ÁREAS DE ESTUDO

Foram selecionadas três áreas de produção de cana-de-açúcar, com histórico de uso e ocupação por pastagens de 1970 a 2000. Desde então, as áreas foram utilizadas para cultivo de cana-de-açúcar, sendo de 2000 a 2010, a colheita realizada sob cana-queimada e a partir de 2011 sob cana-crua. Para o cultivo da cultura, as áreas eram implantadas com espaçamento entre sulcos de 1,50 m e submetidas a cinco ciclos de colheitas. Posteriormente, áreas de produção eram reformadas.

As três áreas de estudo foram divididas conforme o sistema de manejo empregado no período de reforma, sendo: i) Preparo Convencional + Cana (PREP+CANA); ii) Preparo Convencional + Adubo Verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); e, iii) Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA) (Figura 3). A localização e os atributos do solo das áreas pesquisadas estão apresentados na Tabela 1.

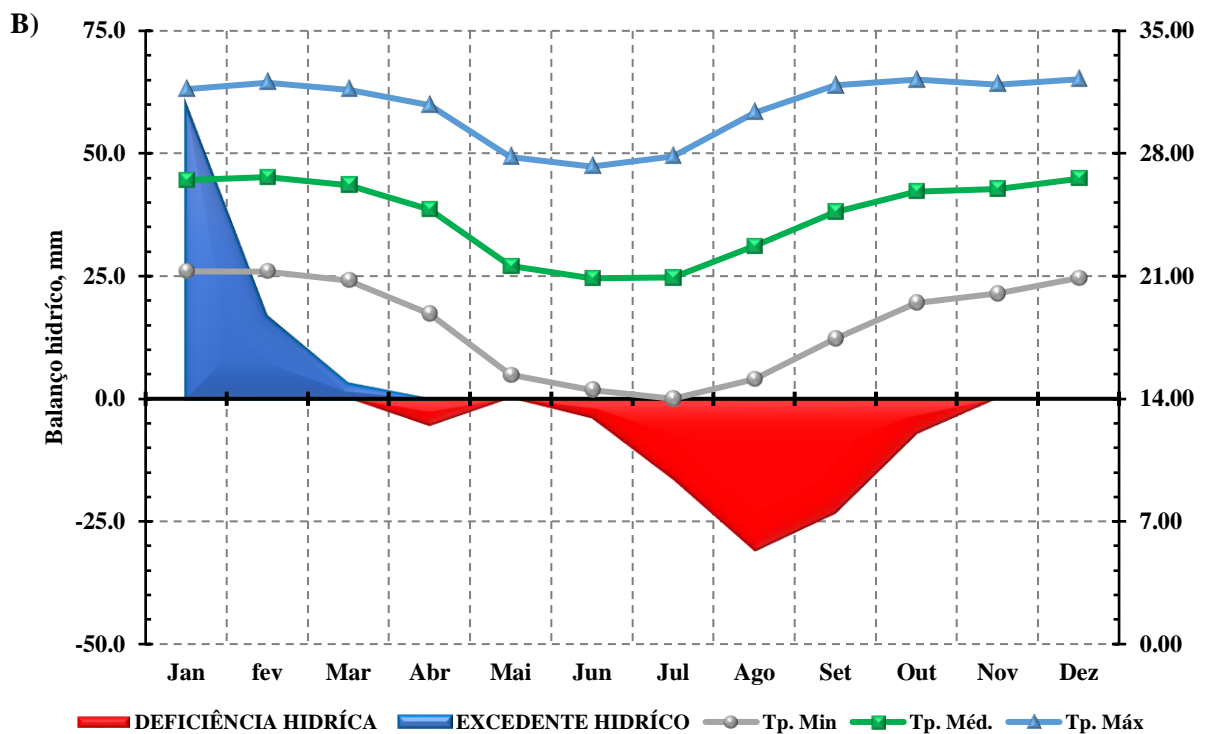
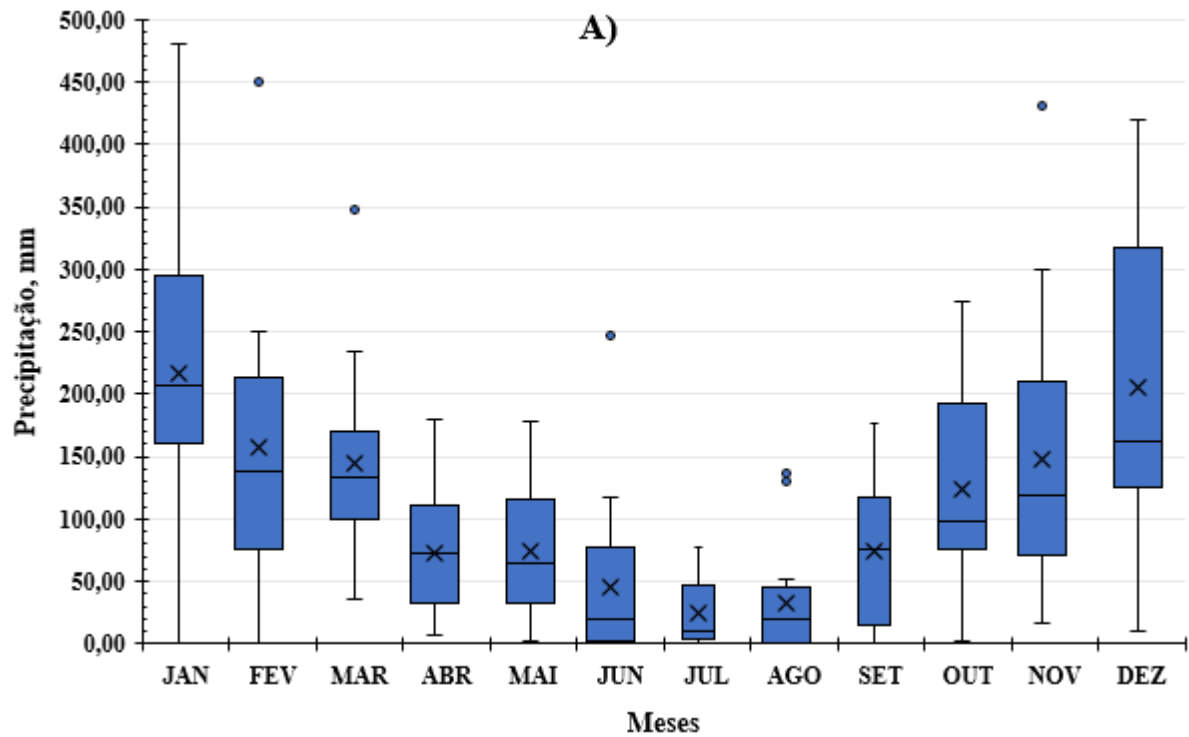


Figura 1. Precipitação (A) e o balanço hídrico e a temperatura (B) do município de Valparaíso-SP, no período de 2004 a 2019. Para o gráfico box-plot, Figura A, tem-se que seus constituintes representam: a caixa, 50 % dos valores, ou a distância interquartil, designada entre o 1º e 3º quartil; a borda inferior da caixa, o 1º quartil (Q1); o símbolo “X”, a média; a linha contínua dentro da caixa, a mediana, ou o 2º quartil (Q2); e, a borda superior da caixa, o 3º quartil (Q3). As barras abaixo e acima da caixa, representam respectivamente, o limite inferior (LI) e o limite superior (LS), que correspondem aos valores 1,50 vezes a distância interquartil. E os valores que estão fora deste intervalo, do LI e LS, são considerados outliers, e estão representados pelo símbolo “bolinha”. **OBS:** $LI = \{[1,50 * (Q3 - Q1)] + Q1\}$; $LS = \{[1,50 * (Q3 - Q1)] + Q3\}$. **Fonte:** Agritempo (Estação INMET, Valparaíso-SP (OMM: 86838)).

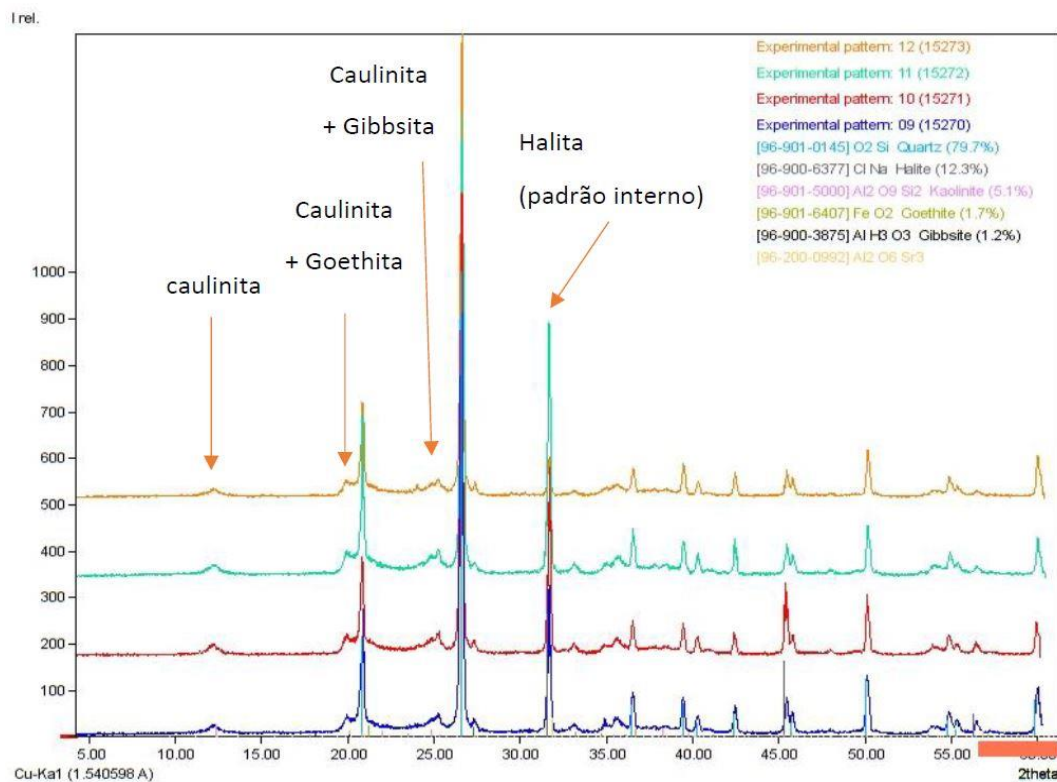
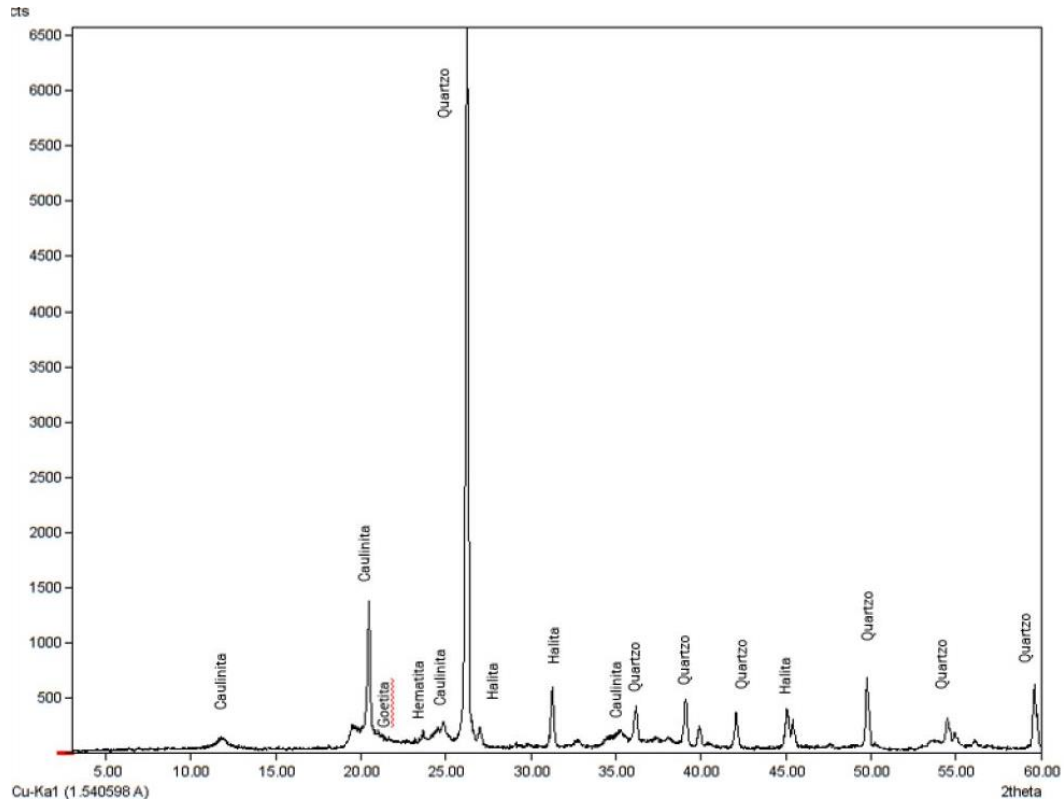
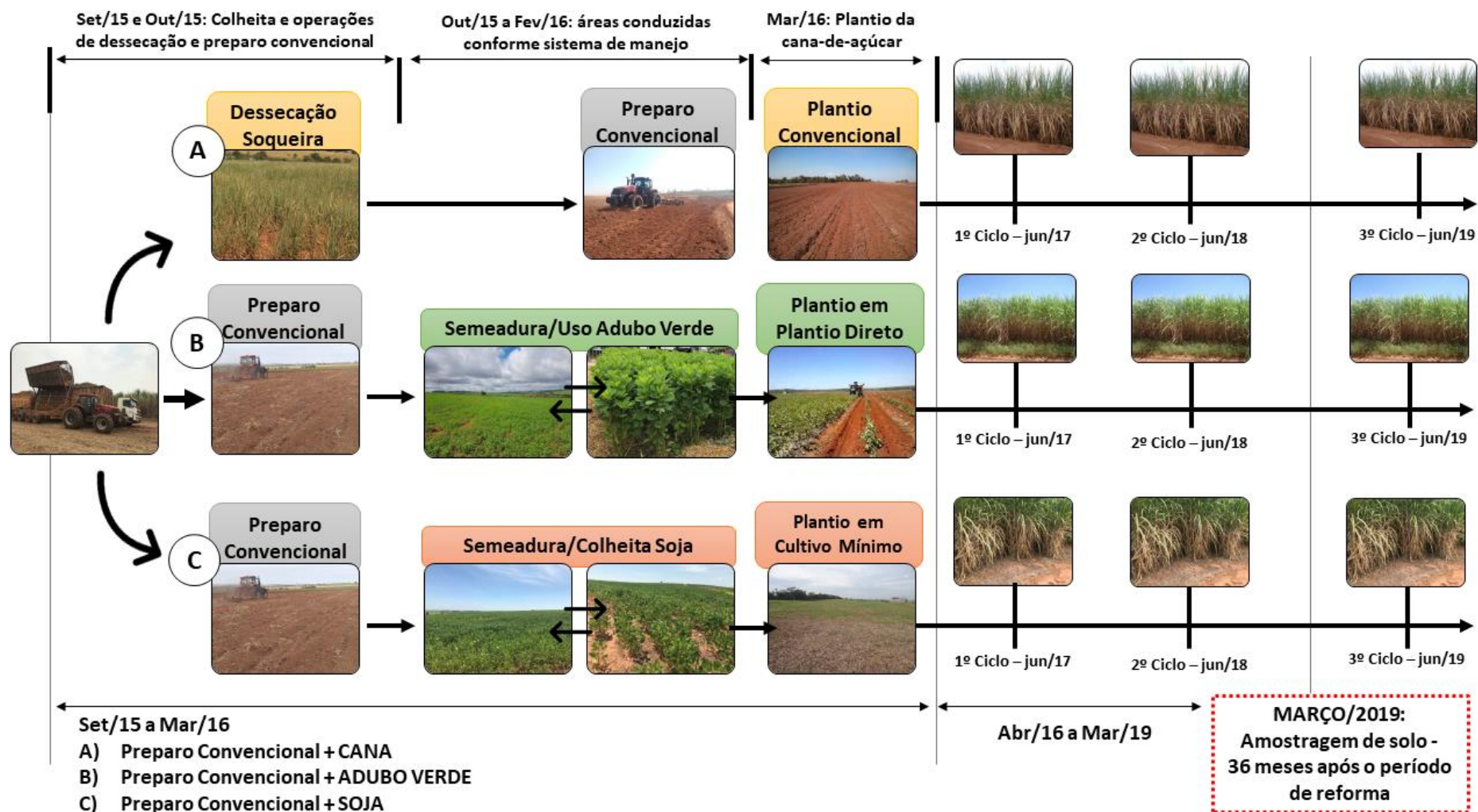


Figura 2. Caracterização mineralógica do Argissolo Vermelho distrófico arênico, na camada de 30 – 40 cm, região noroeste do Estado de São Paulo. **A)** Picos de quartzo; **B)** Picos dos demais argilominerais. Determinações por meio de difratometria diferencial de raios X (Schulze, 1984) com equipamento Rigaku Miniflex II, radiação de $\text{CuK}\alpha$, operado a 30 kV e 15mA, com filtro de Ni e monocromador de grafite. Determinações realizadas no Laboratório de Gênese de Solos / Esalq-USP.



1

2 **Figura 3.** Descrição das áreas de reforma em solos arenosos conduzidas sob três sistemas de manejo no período de reforma: **A)** Preparo
3 Convencional + Cana (PREP+CANA); **B)** Preparo Convencional + Adubo verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); e, **C)** Preparo
4 Convencional + Soja (PREP+SOJA).

1 **Tabela 1.** Atributos do solo das áreas em estudo situadas sobre Argissolo Vermelho distrófico arênico.

Coordenadas	Alt. m	Prof. m	Areia			Silte	Argila	Classif.	Dp kg dm ⁻³	▲pH	PCZ	CTC cmolc dm ⁻³
			grossa %	fina %	total %							
PREP + CANA												
21° 6' 41" S	440	0,00 - 0,10	63	6	69	3	28	Franco-argiloarenosa	2,69	-0,64	5,48	8,16
50° 45' 24" O		0,10 - 0,20	54	13	67	8	25	Franco-argiloarenosa	2,67	-0,72	5,33	7,96
		0,20 - 0,30	57	10	67	11	22	Franco-argiloarenosa	2,68	-0,43	4,81	6,95
		0,30 - 0,40	55	10	65	5	30	Franco-argiloarenosa	2,67	-0,40	4,22	6,53
PREP + ADV												
21° 3' 42" S	420	0,00 - 0,10	66	13	79	12	10	Areia franca	2,82	-0,15	4,67	7,63
50° 55' 15" O		0,10 - 0,20	68	13	80	11	9	Areia franca	2,85	-0,15	4,46	6,64
		0,20 - 0,30	66	13	78	12	11	Areia franca	2,83	-0,14	4,47	6,44
		0,30 - 0,40	67	10	77	11	13	Areia franca	2,82	-0,21	4,50	6,58
PREP + SOJA												
20° 59' 15" S	400	0,00 - 0,10	71	10	81	10	9	Areia franca	2,74	-0,19	5,78	6,67
50° 54' 31" O		0,10 - 0,20	71	10	80	9	12	Areia franca	2,72	-0,26	5,73	6,05
		0,20 - 0,30	70	10	80	11	10	Areia franca	2,76	-0,30	5,39	5,19
		0,30 - 0,40	65	13	77	9	14	Areia franca	2,75	-0,25	5,08	5,13
		Máximo	71	13	81	12	30		2,85	-0,14	5,78	8,16
		Média	64	11	75	9	16		2,75	-0,32	4,99	6,65
		Mínimo	54	6	65	3	9		2,67	-0,72	4,22	5,13
		CV(%)	9	20	8	29	50		2,34	-61,11	10,83	14,27

2 **Dp** = Densidade de partículas; **PCZ est.** = Ponto de Carga Zero estimado. Metodologias: **ΔpH** (pH-KCl – pH-
3 H₂O, de acordo com Mekaru & Uehara (1972)); **PCZ estimado** conforme Uehara (1979), pela formula: PCZ = [(2
4 * pH-KCl (1 mol L⁻¹)] – pH-H₂O; determinação granulométrica de acordo com o método da pipeta com agitação
5 lenta (Embrapa, 1997). **AG**, areia grossa, de 2,00–0,21 mm; **AF**, areia fina, de 0,21–0,053 mm; e **AT**, areia total,
6 de 2,00–0,053 mm (Donagemma et al., 2016).

7

8 O preparo convencional, comum nas três áreas de estudo e executado no período de
9 reforma é caracterizado pelas operações de – nesta ordem: dessecação química da soqueira,
10 gradagem pesada, gradagem intermediária, subsolagem e gradagem niveladora. A aplicação de
11 corretivos (calcário e gesso) foi realizada simultaneamente as operações de revolvimento do
12 solo. Em seguida, as áreas foram conduzidas pelos diferentes sistemas de manejo. As doses de
13 corretivos, adubação, aplicação de subprodutos (vinhaça e torta de filtro) e variedade plantada
14 em cada área estão descritas na Tabela 2.

1 **Tabela 2.** Informações de manejo das áreas estudadas: aplicação de corretivos, adubos e
 2 subprodutos (vinhaça e torta de filtro) no preparo de solo (durante o preparo convencional) e
 3 nos tratos culturais. As doses de insumos referentes aos tratos culturais correspondem a doses
 4 de adubos e subprodutos orgânicos aplicados no 2º e 3º ciclo, enquanto as doses de calcário e
 5 gesso apenas no 3º ciclo.

ÁREA	Variedade	Maturação	Época de Colheita	Calcário	Gesso	Adubo	Vinhaça	Torta de Filtro
				ton ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ton ha ⁻¹
PREPARO DE SOLO								
PREP +CANA	CTC4	Média	Junho	2,50	1,50	600,00 ¹	200,00	40,00
PREP +ADV	RB975201	Média	Junho	1,50	1,00	400,00 ¹	NAP	NAP
PREP +SOJA	RB975033	Média	Junho	3,00	2,00	700,00 ¹	100,00	NAP
TRATOS CULTURAIS								
PREP +CANA	CTC4	Média	Junho	1,50	1,00	500,00 ²	200,00	25,00
PREP +ADV	RB975201	Média	Junho	1,00	0,50	400,00 ²	100,00	NAP
PREP +SOJA	RB975033	Média	Junho	1,50	1,00	600,00 ²	100,00	NAP

6 NAP = não aplicado. Adubo utilizados: ¹Plantio = 24-04-18; ²Cultivo, durante os tratos culturais = 25-05-18.
 7 **Sistema de reforma com soja: aplicação de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-20 antes da semeadura da soja.

8

9 No sistema de manejo *Preparo Convencional + Cana* (PREP+CANA) a dessecação
 10 química da soqueira ocorreu em entre os meses de outubro/2015 e novembro/2015. Dessa
 11 forma, de dezembro/2015 a março/2016, a cultura permaneceu dessecada na área. Então, no
 12 mês de março/2016, a área foi submetida ao preparo convencional e realizado o plantio da
 13 cultura sob solo exposto (Figura 3), com 1,50 m de espaçamento entre sulcos e com aplicação
 14 de 40 ton ha⁻¹ de torta de filtro.

15 Quanto ao sistema de manejo *Preparo Convencional + Adubo Verde* (*Crotalaria*
 16 *spectabilis*) (PREP+ADV) logo após a colheita da cultura, em setembro/2015, a área foi
 17 submetida ao preparo convencional em outubro/2015. Em seguida, foi realizada a semeadura a
 18 lanço da *crotalaria spectabilis*, sendo as sementes incorporadas com grade niveladora. O adubo
 19 verde foi cultivado de outubro/2015 a março/2019; mês este em que foi realizada a operação de
 20 plantio (com espaçamento entre sulcos de 1,50 m), em modo plantio direto, sobre a massa verde
 21 da cultura de cobertura; conforme definição de Coleti (2010) (Figura 3).

1 Acerca do sistema de manejo *Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA)* a área
2 foi conduzida de forma semelhante a área com adubo verde. Porém, invés do cultivo da cultura
3 de cobertura, foi cultivada a soja (cultivar Potência – Brasmax®) no mesmo período; de
4 outubro/2015 a março/2016. Posteriormente a colheita da soja, a área foi submetida a operação
5 de subsolagem, e em seguida, executada a operação de plantio (com espaçamento entre sulcos
6 de 1,50 m) sobre a resteva da soja, em modo cultivo mínimo; conforme definição de Coleti
7 (2010) (Figura 3).

9 **4.2.3 MANEJO DAS ÁREAS DURANTE OS CICLOS DE CULTIVO**

11 Discorrido três a quatro meses após a colheita, todas as áreas eram submetidas a
12 operação de subsolagem (com subsolador/cultivador DMB® São Francisco, com duas hastes
13 subsoladoras com ponteiros aladas) junto a aplicação ou não de corretivos, dependendo da área.
14 Nesta época realizava-se a aplicação de adubos e vinhaça. Já aplicação de torta de filtro, era
15 executada apenas na área de sistema de manejo, PREP+CANA, com aplicação superficial do
16 subproduto (Tabela 3). A Tabela 3 descreve a composição química dos subprodutos aplicados
17 no solo pela unidade sucroenergética

19 **Tabela 3.** Composição química de subprodutos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) utilizados como
20 fertilizantes pela unidade sucroenergética.

	COT	NT	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄ ²⁻
Subproduto	g kg⁻¹							
Vinhaça	22,90**	1,61**	14,22	0,05	1,43	0,50	0,81	0,87
Torta de Filtro	346,52	13,83	25,06	15,73	1,65	32,87	5,39	5,39

21 ** Dados referentes a Prada et al (1998). Metodologia para: COT, Wackley-black; NT, digestão sulfúrica e
22 determinação por Kjehdal; P, S, K, Ca, Mg, digestão nítrica-perclórica e determinação por espectrofotometria (P
23 e S), fotometria (K) e espectro de absorção atômica (Ca e Mg).

25 **4.2.4 AMOSTRAGEM DE SOLO**

27 As amostras de solo foram coletadas em março de 2019 (36 meses após o período
28 de reforma) durante o 3º ciclo da cultura. Foram abertas 8 trincheiras, de 1,0 x 1,0 x 0,5 m
29 (comprimento x largura x profundidade) a cada 30 m de uma trincheira até a outra, nas
30 entrelinhas da cultura, a 0,25 m do sulco de plantio, em áreas delimitadas de 10,0 hectares.

1 Foram coletadas amostras, adjacentes ao sulco de plantio, indeformadas para
2 avaliação do índice de estabilidade de agregados nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 m e
3 nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m, amostras indeformadas
4 para análise da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e
5 carbono orgânico.

6 A avaliação da resistência a penetração (RP) do solo foi realizada com uso de
7 penetrômetro de impacto tipo Stolf, concomitantemente com as amostragens de solo. Ou seja,
8 em cada área foram feitas oito medidas de RP, a 0,25 m do sulco de plantio, na camada de 0,00
9 – 0,40 m.

10 Sobre o espaçamento do sulco de plantio ao local da amostragem de solo, de 0,25
11 m, isto foi em razão deste ser considerado um espaçamento de segurança entre o sulco de plantio
12 e o rodado dos maquinários (Lanças, 2015). Assegurou-se a amortização de resultados
13 superestimados, caso a amostragem fosse realizada na entrelinha: a 0,75 m do sulco de plantio;
14 posto que este é local de maior pressão dos rodados (Barbosa et al., 2018).

15 Já a coleta de amostras na camada de 0 – 40 cm, foi em razão desta camada
16 concentrar as maiores quantidades de raízes da cana-de-açúcar (Barbosa et al., 2018; Melo et
17 al., 2020). A vista disso, as condições observadas nos atributos do solo, apontam influências
18 positivas ou negativas para a cultura, face as suas interferências para o desenvolvimento
19 radicular.

20 21 **4.2.5 MENSURAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO**

22
23 A densidade e a porosidade do solo foram determinadas conforme Almeida et al.
24 (2017). Os anéis (amostras indeformadas) foram submetidos primeiramente a saturação com
25 água, durante 24 horas, para assim, ser obtida a massa de solo saturado (MSSat). Em seguida,
26 após a pesagem da MSSat, os anéis foram colocados sobre mesa de tensão (-6 kPa) por 24
27 horas, obtendo-se a massa de solo após sucção (MSSuc). Finalmente, pesada a MSSuc, as
28 amostras seguiram para estufa a 105 °C, onde permaneceram por 24 horas, e desse modo, obtido
29 a massa de solo seco (MSSeco). Sendo assim, a macroporosidade foi calculada pela razão:
30 $(MSSat - MSSu)/\text{Volume do anel}$; a microporosidade pela razão: $(MSSuc - MSSeco)/\text{Volume}$
31 do anel ; e, a densidade do solo, pela razão: $MSSeco/\text{Volume do anel}$.

32 Quanto ao índice de estabilidade de agregados, a campo foram retiradas amostras
33 indeformadas e colocadas em um conjunto de peneiras (2, 1, 0,50, e 0,250 mm de abertura) e
34 agitadas durante 1 minuto, sob movimentos verticais. Após, os agregados de cada peneira,

1 foram acondicionados em sacos plásticos, levados para o laboratório e colocados em estufa.
 2 Depois foram pesados e seguida calculado o índice de estabilidade:

3

$$4 \quad IEA (\%) = \left\{ \frac{(Xi > 0,25) - \left[MSS * \left(\frac{\% \text{ areia}}{100} \right) \right]}{MSS} \right\} * 100$$

5

6 Em que: **Xi**: massa de solo retido nas peneiras com abertura > 0,25 (mm); **MSS**:
 7 Massa de Solo Seco total de cada amostra seca (gramas).

8

9 Para determinação do carbono orgânico (CO), foi a utilizada a metodologia de
 10 Walkley–Black, descrita por Fontana e Campos (2017). As amostras foram colocadas em estufa
 11 de circulação de ar forçada, por 24 horas, a 40 °C. Depois, peneiradas em malha de 2 mm, para
 12 obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, foi pesada 1,00 grama de TFSA e
 13 submetida as amostras a oxidação com 10 ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) (0,167 mol
 14 L^{-1}) e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 1 mol L^{-1}), nesta ordem. Após 30 minutos, foi
 15 acrescentado 4 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4 , concentrado) e mais 50 ml de água destilada. Por
 16 fim, foi adicionado 0,50 ml de solução de difenilamina (1 %) (solução indicadora), seguido de
 17 titulação com $FeSO_4$ 1 mol L^{-1} .

18 Já a resistência a penetração foi determinada por meio das equações (i), (ii) e (iii)
 19 (Tavares Filho, 2013; Stolf et al., 2014) em que os dados foram transformados em “MPa” e os
 20 resultados descritos em intervalos de 0,05 m. A umidade do solo, presente na avaliação de RP,
 21 foi determinada em Umidade Volumétrica (U_v), devido as avaliações de porosidade.

22

23 i) Penetração da Haste no Solo (**PnHS**)

24 = (2ª leitura – 1ª leitura); (3ª Leitura – 2ª leitura) ...

25

$$26 \quad ii) N = \frac{Impactos}{dm} = \left[\left(\frac{N^o Impactos}{PnHS(cm)} \right) * 10 \right]$$

27

$$28 \quad iii) RPa (MPa) = \{ 0,0980665 * [5,60 + (6,89 * N)] \}$$

29

30 4.2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

31

Inicialmente os dados de cada camada avaliada foram submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade, pelos testes de Shapiro Wilk e Bartlét, respectivamente. Sendo assim, seguiu-se a análise de variância pelo Teste F (p -valor $< 0,05$) em modo de delineamento inteiramente casualizados (DIC), comparando-se as médias pelo teste Scott Knott (p -valor $< 0,05$).

Também, foi realizado testes de correlação entre os teores de CO e os atributos físicos do solo através do coeficiente de correlação linear de Pearson (p -valor $< 0,05$). E para mais, os dados das quatro camadas avaliadas, dos três diferentes sistemas de manejo de reforma, foram submetidos a análises multivariadas: análise de cluster e de componentes principais. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software R (R Core Team 2021).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Após 36 meses verificou-se que os atributos físicos do solo foram influenciados significativamente pelos diferentes manejos no período de reforma. A exceção foi a resistência a penetração, com resultados não significativos (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo das análises de variâncias para os atributos físicos do solo avaliados após 36 meses em solos arenosos.

camada	CO		IEA		Ds		PT	
	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	0,0174	17,20	$<0,0001$	2,26	0,0152	3,64	$<0,0001$	6,13
10 a 20	0,0014	24,30	$<0,0001$	2,16	$<0,0001$	2,36	$<0,0001$	6,35
20 a 30	0,0010	16,32	-	-	0,0016	3,88	$<0,0001$	5,38
30 a 40	$<0,0001$	19,65	-	-	$<0,0001$	2,59	$<0,0001$	4,58
camada	Ma		Mi		RP		U(%)	
	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	$<0,0001$	20,44	$<0,0001$	8,43	$> 0,05$	$> 25 \%$	$<0,0001$	12,03
10 a 20	0,0408	28,39	$<0,0001$	5,33	$> 0,05$	$> 25 \%$	$<0,0001$	13,14
20 a 30	0,0002	20,24	$<0,0001$	5,36	$> 0,05$	$> 25 \%$	$<0,0001$	15,01
30 a 40	$<0,0001$	13,73	$<0,0001$	4,52	$> 0,05$	$> 25 \%$	$<0,0001$	9,93

1 Sobre a densidade do solo (Ds), foi observado que o sistema de reforma com uso de
2 adubo verde (ADV) após as operações de revolvimento do solo, proporciona os menores valores
3 de densidade na camada de 0 – 40. Enquanto o sistema PREP+CANA e PREP+SOJA os
4 maiores (Figura 4, A). Da mesma forma, isto ocorreu para a porosidade total (PT): maiores
5 teores de PT para o sistema PREP+ADV, e menores para PREP+CANA e PREP+SOJA, nesta
6 ordem (Figura 4, B).

7 Para Ma e Mi, os resultados foram semelhantes aos de PT: maiores para o sistema
8 com adubo verde e menores para PREP+CANA e PREP+SOJA, na camada de 0 – 40 cm
9 (Figura 5, A e B). Quanto ao índice de estabilidade de agregados (IEA), o sistema
10 PREP+CANA acarretou os menores IEA. Por outro lado, os sistemas com culturas, seja com
11 adubo verde ou soja, os maiores IEA na camada de 0 – 10 cm, porém, e, contrastantes na camada
12 de 10 – 20 cm (Figura 6, A).

13 Acerca do acúmulo de carbono orgânico (CO), notou-se que o sistema com soja é
14 que contribui para os menores teores de carbono na camada de 0 – 40 cm. Já os sistemas, ADV
15 e CVC, foram semelhantes nas camadas de 0 – 10 e 20 – 30 cm, mas significativamente
16 diferentes nas camadas de 10 – 20 cm e 30 – 40 cm (Figura 6, B).

17 E para a RP, não houve influência significativa entre os sistemas de manejo após 36
18 meses dos períodos de reforma (Figura 7).

19 20 **4.3.2 CORRELAÇÕES ENTRE OS TEORES DE CARBONO E OS ATRIBUTOS FÍSICOS E** 21 **ANÁLISES MULTIVARIADAS**

22
23 As correlações entre os teores de CO e os atributos físicos apresentaram uma
24 associação positiva com aumento da concentração de CO para com a melhoria das condições
25 física do solo. Isso, demonstrado pelas correlações negativas com a Ds e RP e positivas para
26 com PT, Ma e Mi (Figura 8, de A a E). Apenas no IEA não foi constatada correlação
27 significativa (Figura 8, F).

28 Para mais, observou-se por meio das análises multivariadas a formação de dois
29 grupos: um, com sistema PREP+ADV, e outro, com os sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA
30 (Figura 9, A). Posto, as condições mais favoráveis aos atributos físicos pelo sistema ADV,
31 exposto pela maior correlação entre este sistema e as variáveis PT, Ma e Mi. O que se contrastou
32 com os sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA, em que foi observada maior relação destes
33 sistemas com a Ds e RP (Figura 9, B)

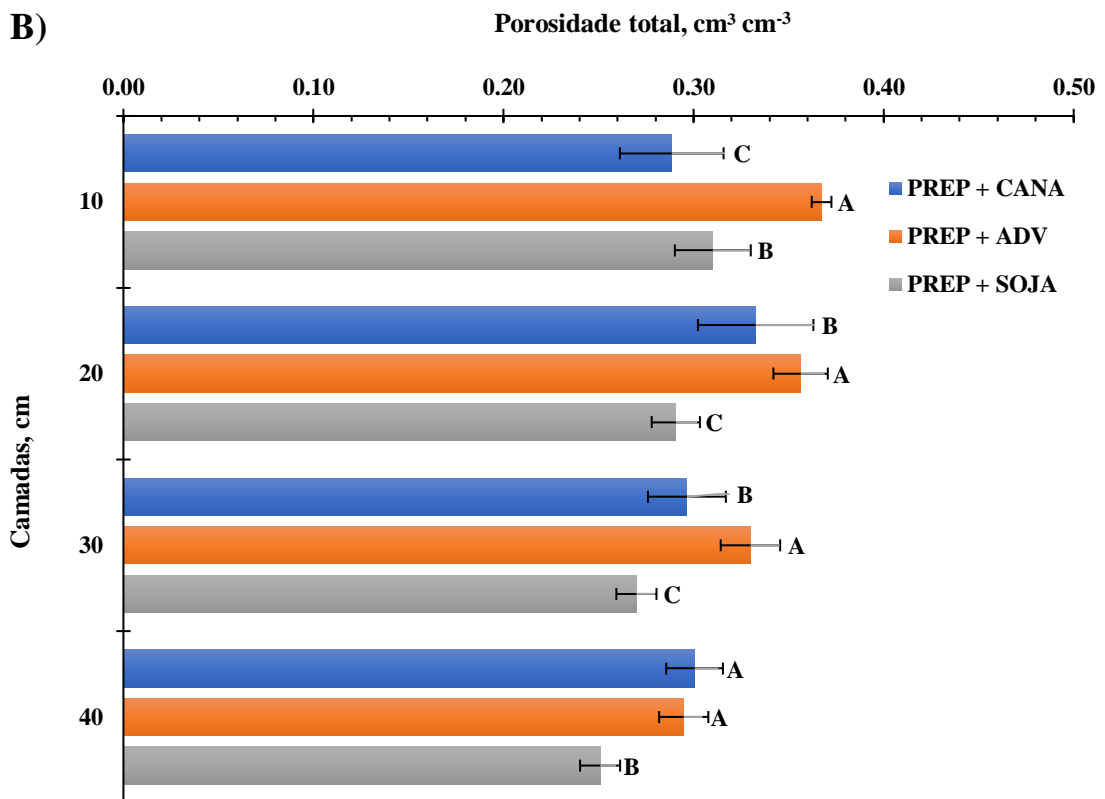
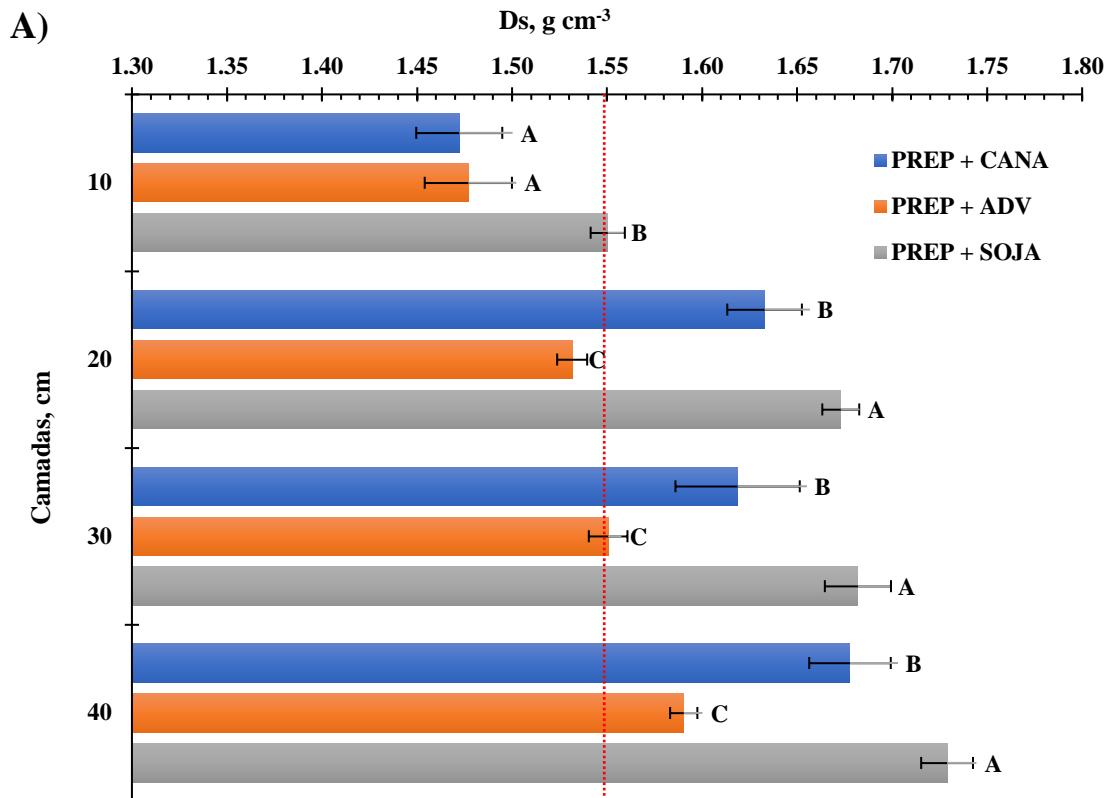


Figura 4. Níveis de densidade do solo (A) e porosidade total (B) após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo: convencional, com adubo verde ou soja. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p -valor < 0,05); ns: não significativo. As barras denotam o erro padrão da média ($n = 8$).

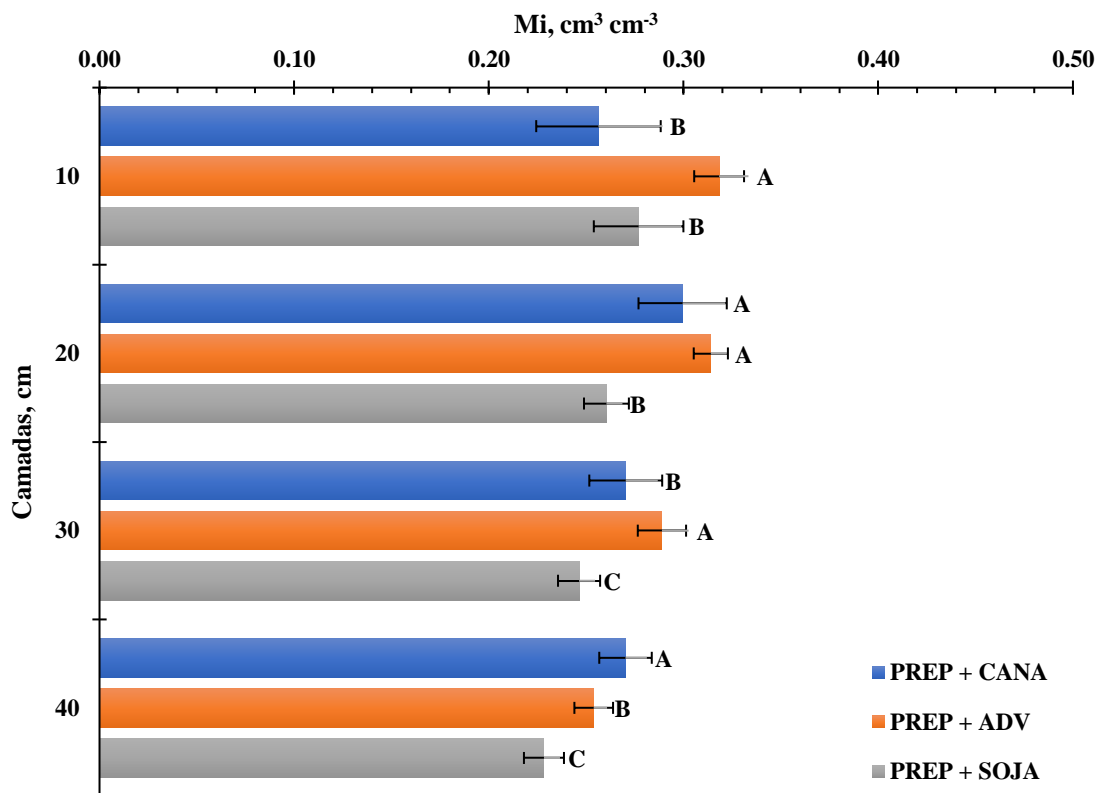
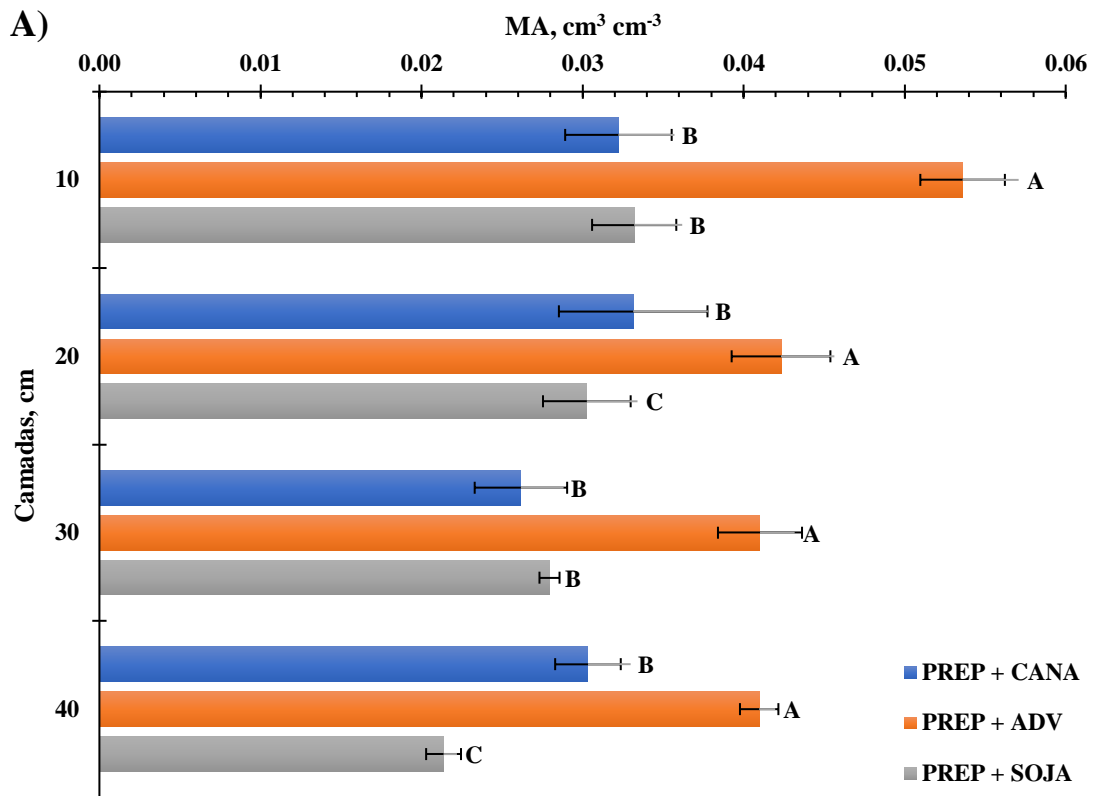
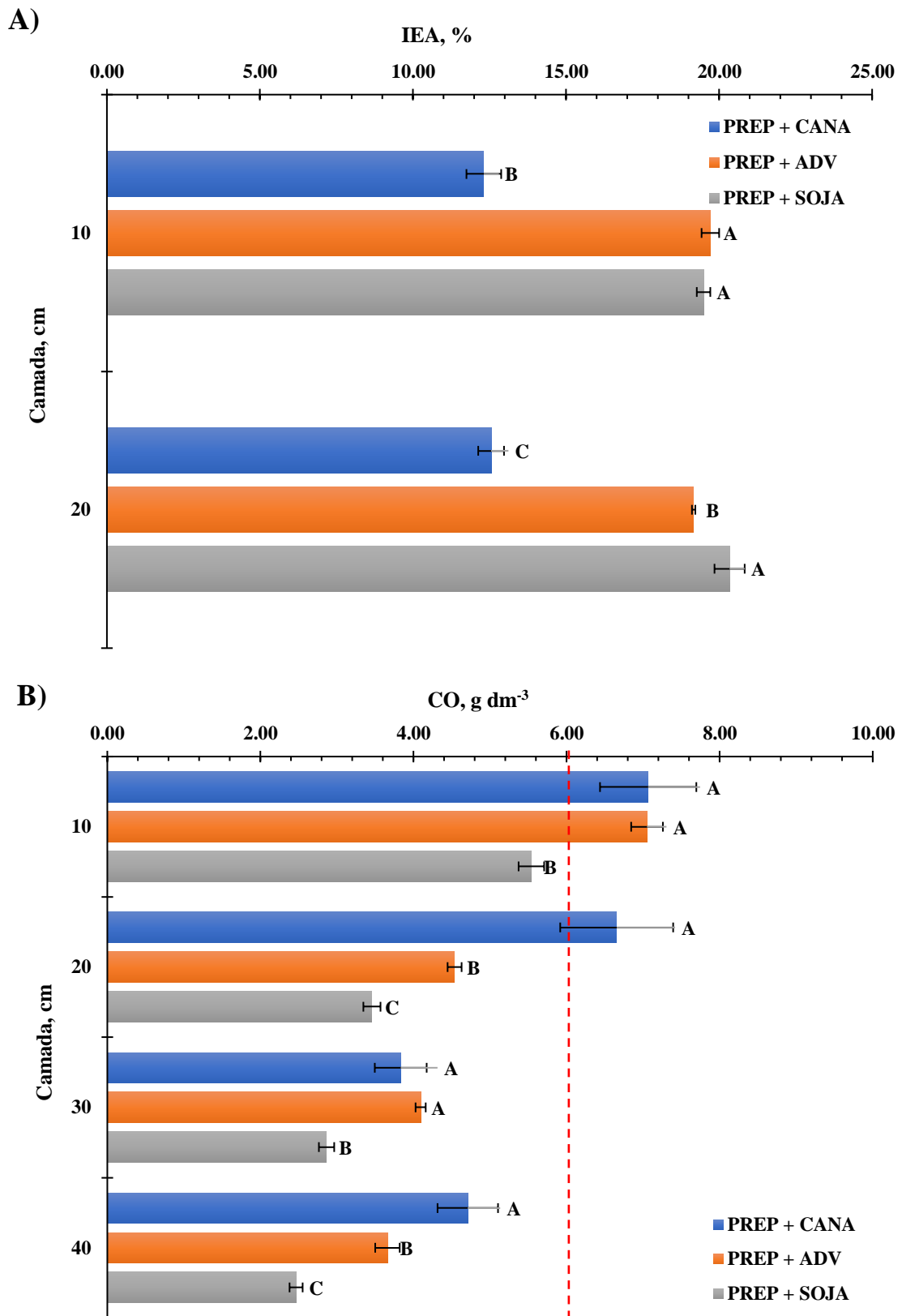


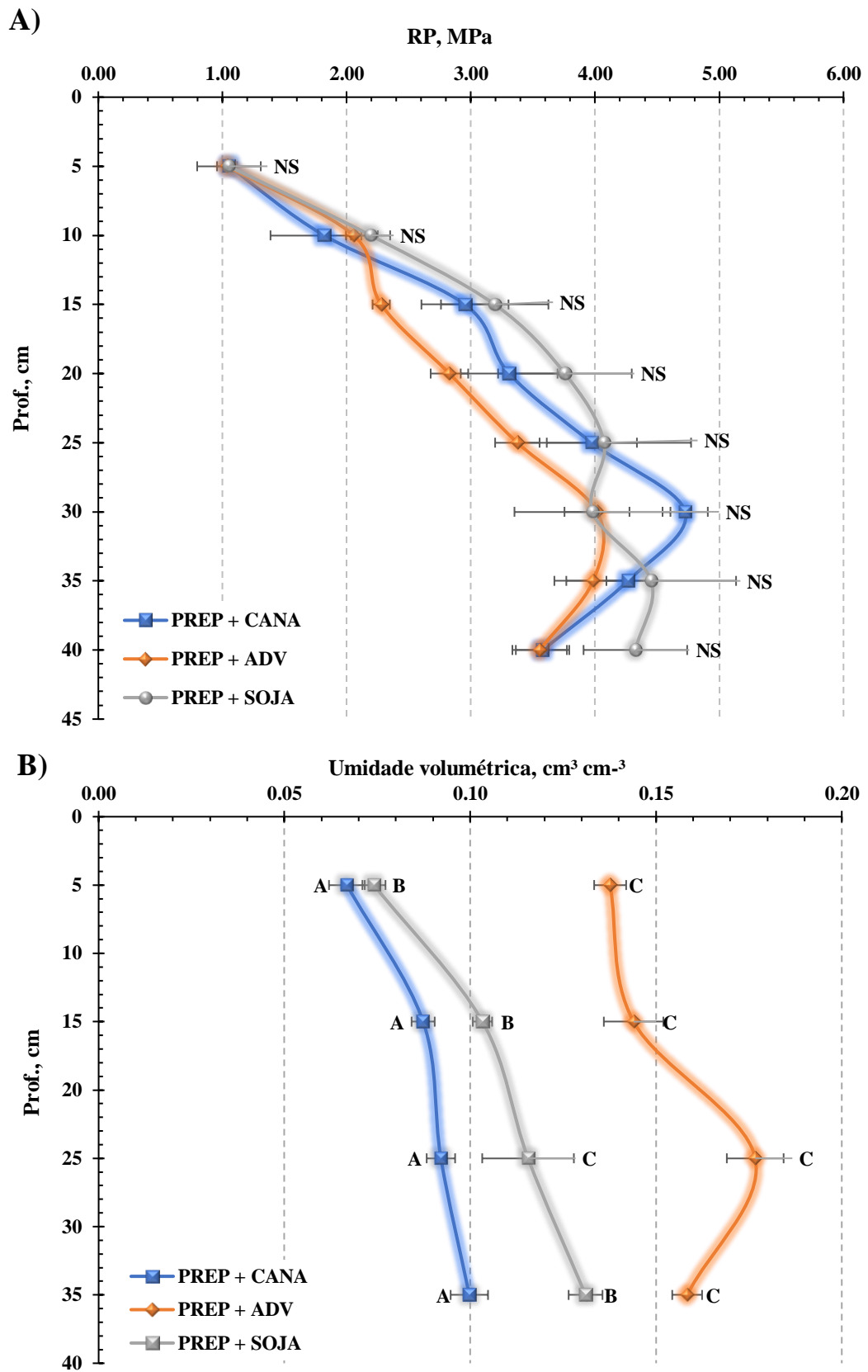
Figura 5. Valores de Macroporosidade (A) e Microporosidade (B) após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo: convencional, com adubo verde ou soja. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p -valor < 0,05); ns: não significativo. As barras denotam o erro padrão da média ($n = 8$).



1

2

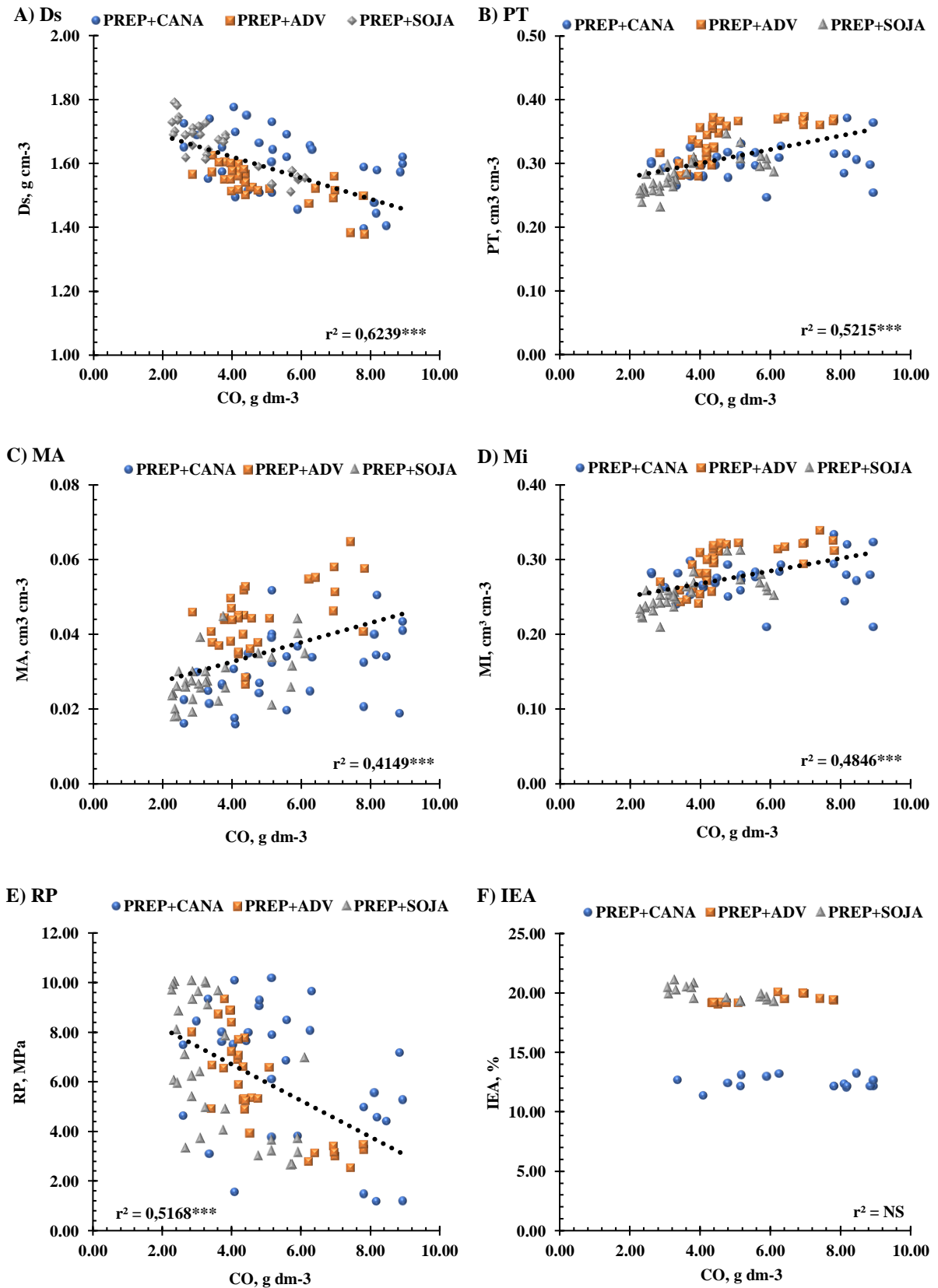
3 **Figura 6.** Índice de estabilidade de agregados (A) e concentração de carbono orgânico no solo
 4 (B) após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo: convencional, com
 5 adubo verde ou soja. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p-
 6 valor < 0,05); ns: não significativo. As barras denotam o erro padrão da média (n = 8).



1

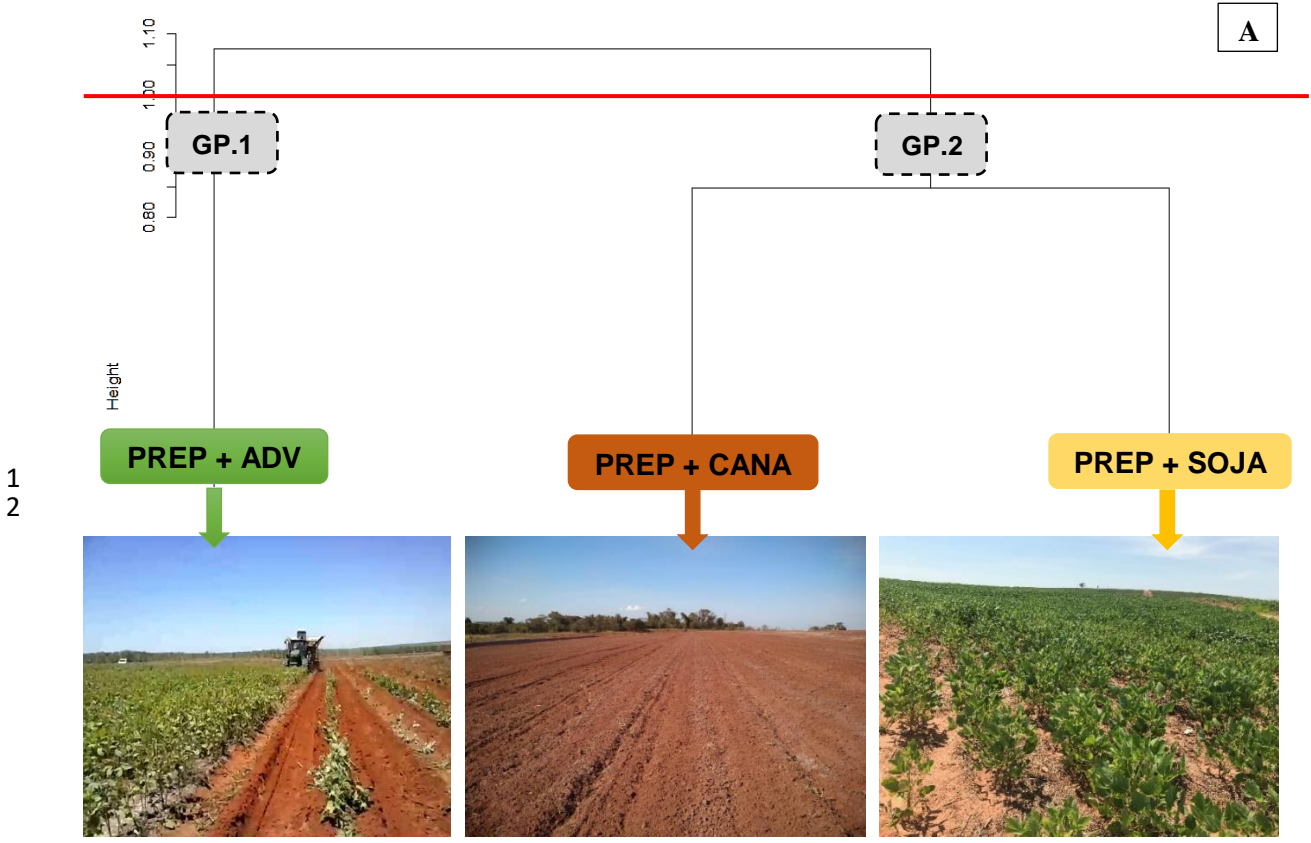
2

3 **Figura 7.** Resistência a penetração do solo (A) e umidade volumétrica (B) após 36 meses do
 4 período de reforma sob diferentes sistemas de manejo: convencional, com adubo verde ou soja.
 5 Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p -valor < 0,05); ns: não
 6 significativo. As barras denotam o erro padrão da média ($n = 8$).

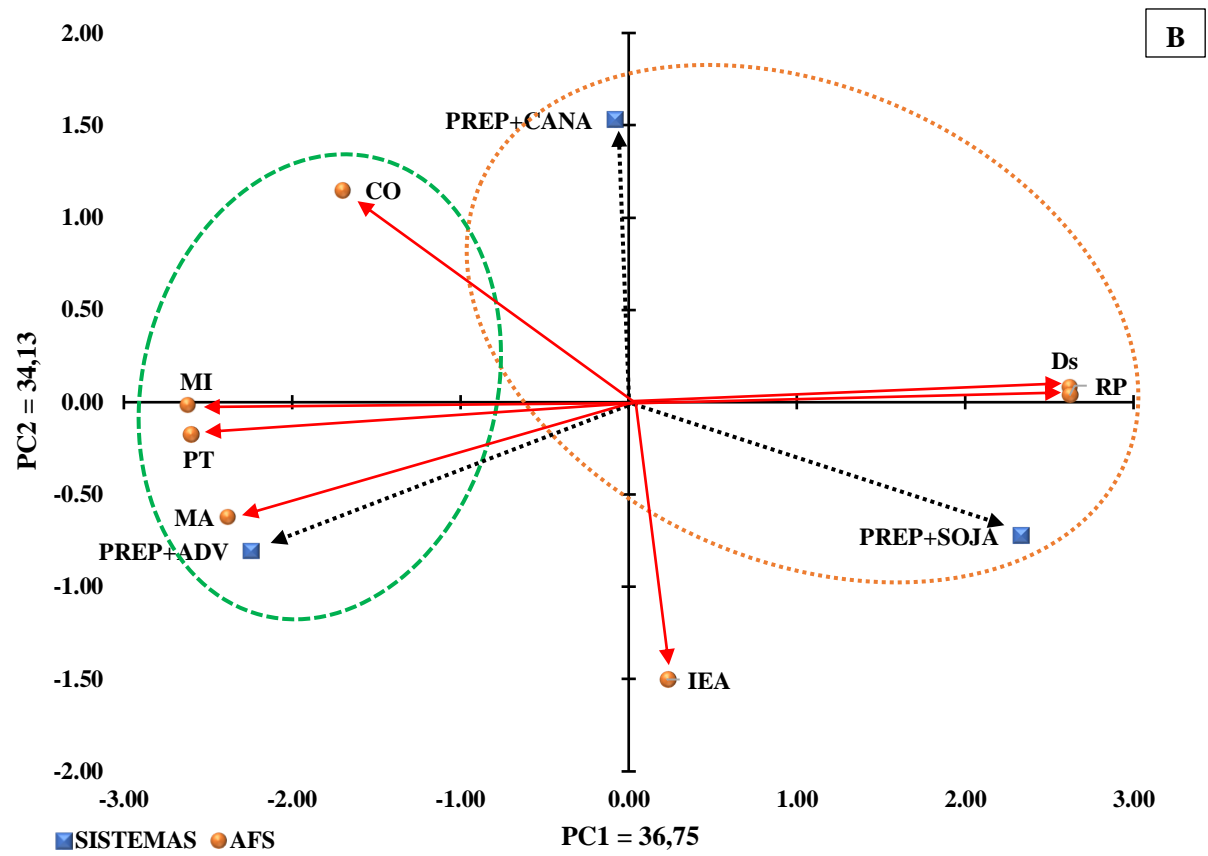
1
23
4

5

6 **Figura 8.** Correlações na camada de 0 – 40 cm, entre os teores de carbono orgânico e (A)
 7 densidade do solo, (B) porosidade total, (C) macroporosidade, (D) microporosidade, (E)
 8 resistência a penetração e (F) índice de estabilidade de agregados. Correlações de Pearson (r²)
 9 testadas a 5 e 1 % de probabilidade, em que: (***), refere-se a p-valor < 0,01; e calculadas com
 10 n = 96.



1
2



3
4
5
6
7

Figura 9. Análises de Cluster (A) e Análise de Componentes Principais (B) demonstrando a relação entre os sistemas de manejo e os atributos físicos do solo após 36 meses do período de reforma. Análises realizadas com n = 96, referente a valores de todas as camadas.

4.4 DISCUSSÃO

4.4.1 OS SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE REFORMA E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

a) Densidade e Porosidade

O advento da mecanização na cana-de-açúcar trouxe consigo desafios relacionados a manutenção das propriedades físicas do solo para o bom desenvolvimento da cultura (Cavaliere et al., 2011). Desafio este complexo, uma vez que a mecanização constitui um meio essencial para exploração da cultura, sem a necessidade do fogo para colheita. Além disso, a perenidade da cultura, impõe que intervenções as propriedades físicas do solo, como o revolvimento e a subsolagem em área total, sejam realizadas apenas no período de reforma (Bolonheiz & Gonçalves, 2015).

Nesse sentido, é observado que as práticas de manejo exercidas no período de reforma são essenciais para qualidade física do solo em áreas canavieiras. Contudo, resultados de Barbosa et al (2018), não verificaram discrepâncias entre os sistemas, convencional e preparo reduzido após cinco ciclos de colheita nos atributos físicos do solo. Assim, o que demonstra haver um retorno das más condições físicas do solo ao longo dos ciclos da cultura.

De uma outra forma, os resultados desta pesquisa indicam que sistemas de manejo com uso adubo verde após o preparo convencional da área no período de reforma, é capaz de mitigar a degradação física do solo; enquanto sistemas, convencional, e com soja após o preparo convencional, aceleram o retorno da compactação. Dessa maneira, tais resultados corroboram a hipótese testada, e, portanto, o que incita a preferência por sistemas de reforma canavieira com uso de adubos verdes em solos arenosos.

Os diferentes sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+ADV não apresentaram diferenças significativas para densidade do solo (Figura 4, A) somente na camada mais superficial: de 0 – 10 cm. Para isso, é atribuído a presença da palhada pós-colheita da cultura. A deposição da palhada na superfície do solo, exerce um efeito amortecedor, ao mesmo tempo que aumenta superfície de contato entre o rodado e o solo (Rosim et al., 2012). Por conseguinte, estes fatores colaboram para dissipação da tensão aplicada no solo durante o tráfego, reduzindo a compactação (Braidia et al., 2006). Já, nas camadas inferiores – abaixo de 10 cm, o sistema de manejo PREP+ADV acarretaram as melhores condições de estrutura do solo, isto é: de espaço poroso e densidade (Figuras 4, A e B).

1 A condição de melhor estrutura ou da atenuação da degradação da estrutura do solo,
2 referente a densidade e ao espaço poroso pelo sistema de manejo PREP+ADV (Figura 4, A e
3 B; Figura 5, A e B) pode estar relacionado ao efeito do uso e desenvolvimento da *Crotalaria*
4 *spectabilis* após o preparo convencional da área, bem como, pela incorporação de carbono pela
5 senescência das raízes e decomposição da biomassa área. Nesse sentido, um conjunto de fatores
6 tenham colaborado para tais resultados.

7 Inicialmente é necessário considerar o desenvolvimento do adubo verde logo após
8 o preparo convencional da área. Possivelmente a presença da crotalaria, sobretudo de suas
9 raízes, sob a condição de solo fissurado – e desagregado, inferiram na manutenção destas
10 fissuras, retardando assim, a acomodação das partículas nos espaços vazios. Tal questão
11 converge para a conclusão de Nicoloso et al (2008), ao verificarem que o uso simultâneo de
12 plantas de cobertura junto a escarificação mecânica retardaram a reconsolidação do solo,
13 comparada a prática isolada da escarificação mecânica.

14 Assim, os resultados obtidos indicam a possibilidade de haver a postergação dos
15 efeitos de descompactação do solo gerada nas operações de preparo convencional junto ao uso
16 de adubos verdes neste período. Isso é reforçado, uma vez que em comparação aos outros
17 sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+SOJA, o sistema de manejo PREP+ADV foi capaz
18 de atenuar a degradação física do solo ao longo dos ciclos de colheita.

19 Outro aspecto a ser considerado, talvez esteja ligado a ação das raízes e a interação
20 entre a matéria orgânica – advinda da decomposição do adubo verde, e a fração mineral do solo.
21 Sobre o primeiro aspecto, tem-se que a extrusão de exsudatos somado a atividade
22 microbiológica e uma maior manutenção da umidade pelo adubo verde (Zotarelli et al., 2012),
23 tenha possibilitado a formação mais rápida de macroagregados.

24 Assim, o que aumentaria a coesão do solo, com reflexo a maior resistência ao
25 cisalhamento, mitigando a deformação do solo e a redução dos espaços porosos (Vasconcellos
26 et al., 2012). Além disso, a senescência das raízes, contribuem para formação de bioporos, que
27 por sua vez, aumentam a porosidade do solo (Blanco-Canqui & Ruiz, 2018).

28 Quanto a interação da matéria orgânica adicionada pelo adubo verde junto a fração
29 mineral, provavelmente essa interação deve ter influenciado: a relação entre a matéria orgânica
30 e a água; formação de ligações entre partículas orgânicas e minerais; e, de efeitos relacionados
31 a elasticidade do solo. Devido a fração orgânica possuir uma maior área de superfície específica
32 e reatividade em comparação com partículas minerais arenosas (Meurer et al., 2013), isso
33 contribuiria para maior interação da água adicionada no solo para com a matéria orgânica.

1 Sendo assim, a maior interação e a capacidade de retenção de água pela matéria
2 orgânica, diminuiria taxa de formação de filmes d'água em torno das partículas minerais. Por
3 conseguinte, resultando em diminuição da taxa de lubrificação e com isso, reduzindo a
4 probabilidade de deslizamento e acomodação das partículas nos espaços vazios do solo
5 (Braidá et al., 2006).

6 Ainda sobre a interação da fração orgânica com a água, decerto essa interação
7 possibilitou um aumento na friabilidade do solo do sistema de manejo PREP+ADV, em razão
8 da alta capacidade de retenção de água pela matéria orgânica (Reichert et al., 2009). A maior
9 friabilidade favorece deformações pseudoelásticas e recuperáveis, após cessar a pressão
10 aplicada no solo (Vischi Filho et al., 2015). Segundo Vasconcellos et al (2012), o aumento da
11 matéria orgânica possui influência direta nos limites de consistência do solo. Portanto, o que
12 infere em condições menos favoráveis a compactação do solo durante a pressão exercida pelo
13 tráfego de máquinas.

14 Já a interação entre a fração orgânica e fração mineral, competiria para o aumento
15 da área de contato entre as partículas e na formação de ligações entre ambas as frações. Nesse
16 sentido, competindo para o aumento do atrito e a coesão entre as partículas do solo (Zhang et
17 al., 1997; 2005). Dessa maneira, a resistência do solo a deformação seria maior.

18 Ademais, a presença da matéria orgânica resultante da *Crotalaria spectabilis*, pode
19 ter interferido em um possível aumento no grau de elasticidade do solo. Pois, sendo a matéria
20 orgânica uma fração de alta elasticidade, sua interação com a fração mineral acarreta após
21 aplicação de pressão no solo, o retorno das partículas para o seu estado inicial, assegurando a
22 manutenção da porosidade no solo (Soane, 1990; Braidá et al., 2008).

23 Além disso, há o fato que a maior capacidade de retenção de água pela matéria
24 orgânica, concorre para o aprisionamento de bolhas de ar no solo, devido a maior dificuldade
25 da expulsão do ar na presença de água (Braidá et al., 2008). Quando a pressão exercida sobre o
26 solo se ausenta, estas bolhas de ar se expandem e com isso, deslocam o solo (Hillel, 1998).
27 Portanto, garantindo ao solo uma maior resiliência diante do tráfego de máquinas.

28 Assim, diante do exposto, possivelmente o sistema de manejo PREP+ADV
29 proporcionou condições mitigadoras para degradação dos atributos físicos do solo. O que
30 exprime a possibilidade de práticas de manejo exercidas durante o período de reforma,
31 postergarem seus efeitos ao longo dos ciclos de colheita.

32 Em relação a condição intermediária do sistema de manejo PREP+CANA observa-
33 se por um lado, os benefícios deste sistema de manejo no período de reforma em conjunto ao
34 uso de subprodutos orgânicos para os atributos físicos do solo (Figura 4, A e B; Figura 5, A e

1 B). Por outro, a inferioridade do PREP+CANA em comparação com o sistema de manejo
2 PREP+ADV, expõe provavelmente que a mitigação das propriedades físicas do solo ao longo
3 dos ciclos de colheita não esteja ligada somente a quantidade de carbono adicionada solo, mas
4 também a qualidade da matéria orgânica.

5 Estes resultados talvez podem ser explicados pela característica da aplicação de
6 vinhaça: uma aplicação de forma líquida, alta concentração de K^+ e a baixa relação C:N
7 (Rosseto et al., 2010). A aplicação líquida permitiria uma maior percolação do subproduto no
8 perfil do solo, elevando o seu contato com as partículas do solo.

9 Por hipótese, fomenta-se a possibilidade de que, quando na aplicação de vinhaça,
10 isto competiria para o aumento no grau de dispersão, em razão da alta concentração de K^+ ; um
11 cátion monovalente e, portanto, dispersivo. Logo, esta dispersão tende a selar os poros e por
12 conseguinte, aumentar a densidade e a coesão entre as partículas (Tavares Filho et al., 2010).
13 Mas de outra forma, esta dispersão também concorreria para um maior o grau de revestimento
14 das partículas do solo pelo resíduo orgânico.

15 A baixa relação C:N da vinhaça, proporcionaria a rápida humificação da matéria
16 orgânica presente em torno das partículas minerais, elevando a presença de cadeias hidrofóbicas
17 na fração orgânica (Silva & Mendonça, 2007). Dessa maneira, o que colabora diretamente para
18 redução da taxa de molhamento do solo; reduzindo a friabilidade do solo (Vogelmann et al.,
19 2013). Nesse sentido, o tráfego de máquinas seria exercido majoritariamente sob condições de
20 consistência “dura”, possibilitando a ocorrência da formação de torrões e, ou, da pulverização
21 do solo, facilitando a acomodação das partículas e a redução dos espaços porosos.

22 Assim, estes fatores constituiriam um ciclo recorrente a cada aplicação de vinhaça:
23 i) aumento do grau de dispersão; ii) revestimento das partículas pelos resíduos orgânicos; iii)
24 acomodação das partículas e selamento dos espaços porosos; iv) aumento da densidade e
25 coesão entre as partículas; v) rápida humificação da matéria orgânica e aumento das cadeias
26 hidrofóbicas; vii) redução das taxas de infiltração e molhamento; viii) redução da friabilidade;
27 e, ix) solo trafegado majoritariamente sob consistência “dura”. Logicamente, estas hipóteses
28 não competem para diminuição da importância dos subprodutos orgânicos, como vinhaça para
29 o aporte de carbono no solo, assim discutido por Santos et al (2020). Contudo, estes resultados
30 enfatizam que talvez, o PREP+CANA aliado à contínua aplicação de vinhaça, acelera o retorno
31 da compactação do solo.

32 A respeito da maior degradação do espaço poroso no sistema de manejo
33 PREP+SOJA (Figura 4, A e B; Figura 5, A e B) percebe-se um efeito contrário aos observado
34 pelo uso de adubo verde. Portanto, demonstrando que uso de culturas, comerciais ou de

1 cobertura, podem expressar efeitos diferentes aos atributos físicos do solo após o preparo
2 convencional da área.

3 Talvez o menor desenvolvimento radicular da soja em comparação com a
4 *Crotalaria spectabilis*, incitaria, uma reconsolidação mais rápida do solo, diminuindo a sua
5 porosidade. Além disso, o aporte de carbono pela biomassa da soja é o menor em relação ao
6 PREP+ADV, o que prejudica o acúmulo de matéria orgânica em solos arenosos, e desta
7 maneira, a contribuição da fração orgânica para atenuação da degradação física do solo.

8 Também, o sistema de manejo PREP+SOJA concorre para maior presença de
9 tráfego após o preparo convencional. As operações de semeadura, tratos culturais e colheita,
10 denotam em pressão adicional ao solo. Tais operações poderiam iniciar um comprometimento
11 das propriedades físicas do solo, antes mesmo do plantio da cultura principal: a cana-de-açúcar.
12 Sendo assim, os resultados deste estudo demonstram que a exploração da cultura da soja no
13 período de reforma dos canaviais em solos arenosos, pode constituir possivelmente, em um
14 sistema de manejo de menor contribuição para manutenção dos atributos físicos do solo ao
15 longo dos ciclos de colheita.

16

17 ***b) Índice de Estabilidade de Agregados***

18

19 Acerca dos efeitos dos diferentes sistemas de manejo no índice de estabilidade de
20 agregados, observa-se que o sistema de manejo PREP+CANA acarretou os menores valores em
21 (Figura 6, A). Os baixos índices de estabilidade de agregados podem indicar maior
22 susceptibilidade ao processo de erosão, o que é extremamente danoso em solos frágeis, visto a
23 sua baixa capacidade de resistência e resiliência (Lal, 1997). Além disso, pode representar
24 limitações na difusão de oxigênio e disponibilidade de água no solo (Blano-Caqui & Ruiz,
25 2018) e, por conseguinte, pode afetar a nutrição e o desenvolvimento das plantas com efeitos
26 indiretos a produtividade das culturas (Baumgartl & Horn, 1991; Horn et al., 1994).

27 Nesse contexto, estes resultados expõem que provavelmente o plantio da cana-de-
28 açúcar seguido do preparo convencional do solo, na ausência de uso de culturas comerciais ou
29 de cobertura – isto é, de adubos verdes, tende a prejudicar a agregação do solo (Figura
30 6, A). Talvez, a presença de agentes cimentantes biológicos transientes (polissacarídeos),
31 temporários (raízes e hifas fúngicas) e persistentes (compostos aromáticos recalcitrantes);
32 fundamentais para formação de agregados em solos arenosos (Rosenzweig et al., 2018), tenham
33 sido prejudicados pela ausência da prática da rotação de culturas, com soja ou adubo verde,
34 assim, refletindo-se em resultados de menor estabilidade de agregados.

1 Outro aspecto a ser discutido sobre os resultados de IEA, são as diferenças entre o
2 IEA do PREP+CANA em comparação PREP+ADV e PREP+SOJA, tendo em vista seus
3 maiores incrementos de CO₂; fração essencial para agregação em solos arenosos (Rosenzweig
4 et al., 2018). Conforme Gomes et al (2016) é importante ressaltar não apenas a quantidade de
5 carbono adicionado ao solo, mas também, a qualidade do material orgânico presente infere na
6 agregação do solo. A qualidade do material orgânico, relacionado principalmente a sua relação
7 C:N (Moreira & Siqueira, 2006), pode propiciar reações de maior ou menor intensidade para
8 os atributos do solo.

9 Assim, possivelmente a adição de vinhaça e torta de filtro, ambos resíduos
10 orgânicos de baixa relação C:N (Tabela 3) não condicionem efeitos favoráveis a agregação. O
11 que pode estar ligado a uma elevada taxa de humificação da fração orgânica, devido à baixa
12 relação C:N, inferindo, portanto, em uma menor reatividade da fração orgânica e influência na
13 agregação do solo.

14 Existe também o fato da alta adição de K⁺ pela vinhaça (Zani et al., 2017). É sabido
15 que o K⁺ sendo um cátion monovalente, ele possui um alto grau de hidratação, logo, um cátion
16 de menor força de atração eletrostática, e que assim, favorece a dispersão de argila (Tavares et
17 al., 2012). Nesse sentido, fomenta-se a hipótese que a presença do K⁺ em alta quantidade na
18 solução do solo poderia contribuir para o aumento da dispersão de argila (Melo et al., 2020) e
19 propiciar uma menor estabilidade dos complexos organo-minerais formados (Inda Júnior et al.,
20 2007). Portanto, fatores preponderantes para estabilidade de agregados, que podem ter
21 influenciado os resultados de IEA no PREP+CANA.

22 A respeito dos maiores IEA para os sistemas de manejo PREP+ADV e
23 PREP+SOJA (Figura 6, A) isto pode haver com manejo imposto pelo uso destas culturas. Em
24 ambos os sistemas de manejo, quando comparados ao PREP+CANA tem-se que após o preparo
25 convencional, não há mais práticas de revolvimento do solo (Figura 3). No PREP+ADV, há
26 sim, posteriormente ao uso dos adubos verdes, sulcação direta para o plantio, e, no PREP+SOJA
27 após a colheita da oleaginosa, operações de subsolagem, que antecedem o plantio da cultura
28 principal: a cana-de-açúcar. Portanto, operações antecedentes ao plantio da cana-de-açúcar, sem
29 revolvimento do solo.

30 Dessa maneira, a presença da soja ou de adubo verde no período de reforma, após
31 o preparo convencional da área, junto ao plantio da cana-de-açúcar ausente de práticas de
32 revolvimento do solo sugerem um efeito positivo para os agregados sob solos arenosos. Assim,
33 o que evidencia que a substituição do PREP+CANA pelo uso de PREP+ADV ou PREP+SOJA,
34 proporciona melhorias a agregação de solos arenosos.

1 Provavelmente a utilização destes sistemas de manejo na cana-de-açúcar
2 (PREP+ADV e PREP+SPJA) contribuam para o incremento e manutenção dos agentes
3 biológicos cimentantes (e.g., exsudatos radiculares) e, da aproximação das partículas do solo
4 devido ao crescimento radicular (Calonego & Rosolem, 2008). Há também o aspecto discutido
5 por Muneer e Oades (1989), que a absorção radicular por Ca^{2+} contribui para o aumento da
6 concentração deste cátion próximo a rizosfera, e talvez, o que beneficiária por consequência, a
7 estabilidade dos agregados.

8 Nesse contexto, Amaral et al (2015) concluíram que a rotação de culturas com
9 adubos verdes e o preparo mínimo, foram os quais propiciaram os maiores diâmetros de
10 agregados, em áreas de cana-de-açúcar. Segundo Calegari et al (2013) a presença de resíduos
11 vegetais, advindo de plantas de cobertura ou culturas comerciais, são essenciais para
12 estabilidade de agregados, e que, tais resultados podem ser sumarizados ao longo dos anos.

13 Posto isso, estes resultados sugerem a possibilidade da ocorrência efeitos positivos
14 aos atributos do solo, neste caso a agregação, mesmo após 2 ou mais ciclos da cultura. Tal fato,
15 que se contrasta com os resultados de Barbosa et al (2018) e Tenelli et al (2019), em que ambos
16 os autores constataram não haver diferenças nos atributos do solo em razão de diferentes
17 preparos de solo no período de reforma, após o primeiro ciclo da cana-de-açúcar, devido ao
18 elevado tráfego de máquinas nas áreas canavieiras.

19 20 *c) Carbono Orgânico*

21
22 Devido à baixa reatividade de solos arenosos, principalmente em razão da sua
23 mineralogia quartzosa, ações de manejo que favoreçam o aumento e o acúmulo de carbono
24 orgânico são essenciais para prática agrícola nestes solos (Chaplot & Cooper, 2015). A elevada
25 reatividade da fração orgânica pode promover melhorias as propriedades físicas, químicas e
26 biológicas, que por fim, tendem a refletir em ganhos de produtividade das culturas exploradas
27 (Murphy, 2015).

28 Nesse sentido, os resultados demonstraram que os sistemas de manejo
29 PREP+CANA e PREP+ADV convergem para maior acúmulo de carbono no solo (Figura 6, B).
30 Tais resultados estão em consonância com Tenelli et al (2019), que verificaram maior teor de
31 CO com uso de adubo verde (*Crotalaria spectabilis*) na reforma do canavial, e com Santos et
32 al (2020) que mencionam ser a vinhaça um subproduto mantenedor e de incrementos de carbono
33 no solo.

1 Mesmo que a manutenção da palhada na superfície do solo, advinda da colheita
2 mecanizada contribua para adição de carbono (Cerri et al., 2011; Bordonal et al., 2018),
3 observa-se um efeito preponderante dos diferentes sistemas de manejo no período de reforma,
4 na taxa de incremento de carbono. Isso porque, ao considerar as mesmas condições
5 edafoclimáticas para todas as áreas, isto implicaria em fatores semelhantes de decomposição da
6 palhada; a citar, precipitação e temperatura. Além disso, a palhada de cana-de-açúcar é
7 caracterizada por um resíduo de alta recalcitrância, o que retarda a intensificação do processo
8 de decomposição e humificação (Galdos et al., 2009).

9 Tal questão, pode ser observada nos resultados de Signor et al (2014), em que os
10 autores não verificam diferenças nos teores de carbono orgânico em áreas de 1, 3 e 6 anos sem
11 queima, sob Latossolo Vermelho, textura média. Este contexto reforça o viés que a manutenção
12 da palhada pode ter contribuído em maior grau com a manutenção do carbono adicionado pelos
13 manejos impostos pelos diferentes sistemas de reforma.

14 A respeito do maior acúmulo de carbono pelo sistema de manejo PREP+CANA,
15 em comparação com os sistemas PREP+ADV e PREP+SOJA (Figura 6, B), atribui-se a isto o
16 constante aporte de subprodutos orgânicos – vinhaça e torta de filtro, após o período de reforma.
17 A elevada quantidade de material orgânico depositada no solo por estes subprodutos,
18 proporciona um rápido incremento nos teores da fração orgânica (Zani et al., 2019). A baixa
19 relação C:N da vinhaça, tende a acelerar os processos decomposição e humificação desse
20 material orgânico no solo, que assim, aumenta a sua estabilidade e garante maior persistência
21 da fração orgânica (Santos et al., 2020). Por fim, resultando em maiores quantidades de
22 carbono.

23 Além disso, a área PREP+CANA possui uma correspondência textural classificada
24 como franco-argilosarenosas, diferente das áreas PREP+ADV e PREP+SOJA, que foram
25 classificadas como areia-franca (Tabela 1). Tal aspecto, impõe que estes maiores teores de argila
26 tenham influenciado diretamente em mecanismos de proteção física, química e bioquímica da
27 matéria orgânica (Jastrow & Miller, 1998). A maior reatividade da fração argila em contato
28 com a matéria orgânica possibilita estas interações, que por fim, tendem a elevar o acúmulo
29 de carbono no solo (Dignac et al., 2017).

30 No tocante ao PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*), que demonstrou uma condição
31 intermediária para acúmulo de carbono (Figura 6, B), nota-se os efeitos positivos desta
32 leguminosa a fração orgânica em solos arenosos. A alta produção de biomassa (parte aérea +
33 raízes) proporcionada por este adubo verde (de 20 a 30 ton ha⁻¹ de massa verde em superfície
34 (Wutke et al., 2014)), em conjunto com a prática do não revolvimento do solo no momento de

1 plantio da cultura, possivelmente possibilitou os ganhos de carbono. A presença do resíduo
2 vegetal em superfície, acarreta a manutenção da umidade, menor oscilação de temperatura e
3 aumento na atividade microbiológica (Menandro et al., 2019). Fatores importantes para
4 decomposição e humificação dos resíduos vegetais (Silva et al., 2014).

5 Assim, este incremento de carbono pelo PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*)
6 corrobora a discussão de Ambrosano et al (2011). Em razão das inúmeras operações de
7 revolvimento do solo presentes no período de reforma, percebe-se que a utilização de adubos
8 verde neste período pode representar uma opção de manejo para rápida recuperação do carbono
9 perdido pela desagregação e maior exposição do solo a oxidação da matéria orgânica (Souza et
10 al., 2019).

11 Outro aspecto relacionado ao incremento de carbono pelo PREP+ADV tange a
12 fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelo adubo verde utilizado (*Crotalaria spectabilis*). O
13 adequado aporte de nitrogênio por esta simbiose, talvez tenha colaborado tanto para o
14 desenvolvimento da planta de cobertura, bem como, para baixa relação C:N, uma vez que é
15 conhecida a limitação da disponibilidade de nitrogênio em solos arenosos (Yost & Hartemink,
16 2019). Logo, o que beneficiaria a rápida decomposição dos resíduos vegetais e o aumento da
17 matéria orgânica.

18 Sobre o menor acúmulo de carbono PREP+SOJA (Figura 6, B) tem-se que em razão
19 desta cultura comercial possuir uma baixa produção de fitomassa (de 2 a 4 ton ha⁻¹) e relação
20 C:N < 30 (Wultke et al., 2014), isto convergiria para tais resultados. Ao somar a acelerada
21 decomposição desta fitomassa a condição de baixo favorecimento a estabilização e proteção da
22 matéria orgânica em solos arenosos (Murphy, 2015), observa-se que o uso da cultura da soja
23 minimiza o aumento dos teores de carbono quando comparada aos outros sistemas de manejo.

24 25 ***d) Resistência a penetração do solo***

26
27 Acerca da similaridade dos sistemas de manejo na resistência a penetração (RP),
28 (Figura 7, A e B), percebe-se que todas as áreas apresentaram valores acima de 2,0 MPa,
29 resultados considerados então, restritivos para o desenvolvimento do sistema radicular (Lapen
30 et al., 2004; Barbosa et al., 2018). No entanto, estes resultados eram esperados, em razão do
31 tráfego de máquinas realizado nas áreas estudadas. Trabalhos de Cury et al (2014) e Cherubin
32 (2016) da mesma forma, verificaram em áreas canavieiras valores de RP acima de 2,0 MPa.

33 Tanto a literatura, quanto estes resultados demonstram, portanto, a dificuldade
34 imposta ao desenvolvimento radicular em áreas canavieiras, sendo a mecanização o principal

1 fator de aumento da resistência a penetração (Esteban et al., 2019). Nota-se que independente
2 do sistema de manejo, limites críticos são atingidos após sucessivos ciclos de colheita após o
3 período de reforma.

4 De uma outra forma, a similaridade entre os resultados dos diferentes sistemas de
5 manejo para RP, exibem a importância de uma avaliação integrada, isto é, com mais um
6 parâmetro para avaliação das propriedades físicas do solo. Abreu et al (2004), ao compararem
7 os efeitos da escarificação mecânica *versus* escarificação biológica, sob Argissolo Vermelho-
8 Amarelo distrófico arênico de textura franco-arenosa, verificaram que as conclusões quanto ao
9 efeito dos diferentes tipos de escarificação poderiam ser alteradas, segundo o parâmetro físico
10 analisado. Os autores discorrem que quando considerada a RP, a escarificação mecânica é o
11 melhor manejo para descompactação, e a escarificação biológica a pior. Em contrapartida, se
12 considerada a taxa de infiltração de água, o resultado é inverso.

13 A vista disso, os resultados destas pesquisas sugerem que a avaliação da RP foi
14 capaz de evidenciar condições restritivas ao desenvolvimento radicular. Porém, possivelmente,
15 demonstrando uma menor sensibilidade da detecção de camadas mais compactadas em solos
16 arenosos, quando comparada aos outros parâmetros avaliados; densidade do solo, macroporos,
17 microporos e porosidade total.

19 **4.4.2 A RELAÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE REFORMA E AS** 20 **CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO**

22 *a) Correlações: CO e Atributos físicos*

23
24 A associação positiva entre os teores de CO para com os atributos físicos (Ds, PT,
25 Ma, Mi e RP) (Figura 8, de A a E) apontam que melhorias relacionadas atributos de solos
26 arenosos possuem correlação com a fração orgânica. Devido a predominância de quartzo e
27 caulinita nestes solos (Donagemma et al., 2016), o aumento da matéria orgânica é a principal
28 forma de se elevar a sua reatividade, e assim, promover melhorias a propriedades físicas,
29 químicas e biológicas destes solos (Dutartre et al., 1993; Murphy, 2015; Yost & Hartemink,
30 2019).

31 A elevada área de superfície específica junto ao baixo de ponto de carga zero e alta
32 concentração de grupos carboxílicos, álcoois e fenólicos, permite a fração orgânica intensa
33 interação com a fração mineral (Mendonça & Lowel, 1996; Liu et al., 2006). Sendo assim, o
34 que justificaria as correlações significativas do presente trabalho. Da mesma forma, Cherubin

1 et al (2015; 2016) obtiveram correlações significativas entre os teores de CO e as propriedades
2 físicas e químicas.

3 Sobre a associação negativa para com Ds (Figura 8, A) e RP (Figura 8, E), e positiva
4 para PT (Figura 8, B), Ma e Mi (Figura 8, C e D), tais correlações podem ser relacionadas a
5 fatores discutidos anteriormente no item 4.1. O aumento dos teores de CO, possivelmente
6 incidiria a efeitos sobre: os limites de consistência do solo (Vasconcelos et al., 2012); aumento
7 da capacidade de retenção de água e redução na taxa de lubrificação das partículas (Braidá et
8 al., 2006); aumento no número de pontos de contato entre as partícula e ligações entre a fração
9 orgânica e mineral (Soane, 1990; Zhang et al., 1997); e aumento da elasticidade ou do
10 coeficientes de descompressão do solo (Zhang et al., 2005; Braidá et al., 2008). Dessa maneira,
11 fatores que convergiriam para manutenção dos espaços porosos e menor compactação do solo.

12 Quanto a correlação não significativa entre CO e o IEA (Figura 8, F), tal resultado
13 oposto aos constatados por Salton et al (2008) e Arruda et al (2015), que verificaram correlações
14 positivas do aumento dos teores de CO com o IEA. Provavelmente, resultados deste estudo
15 indicam que, não apenas o carbono orgânico esteja influenciando na agregação do solo. Como
16 descrito por Six et al (1999; 2002) fatores de agregação do solo não se restringem somente ao
17 carbono orgânico, mas também a aspectos relacionados a fauna do solo, ciclos de
18 umedecimento e secagem, desenvolvimento do sistema radicular e seus exsudatos, textura e
19 mineralogia. Sendo assim, observa-se um conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos que
20 interferem na agregação do solo.

21 Para mais, os resultados não minimizam a importância do carbono orgânico para
22 agregação. No entanto, ressalta-se que possivelmente o carbono orgânico poder ter gerado
23 efeitos indiretos a estabilidade de agregados e não diretos; como se esperava por meio de uma
24 correlação positiva significativa. Estes efeitos indiretos podem estar relacionados aos aspectos
25 de retenção de umidade (que influencia a coesão e adesão); na atividade da fauna edáfica, como
26 na presença minhocas, que colaboram para formação de coprólitos; e, na manutenção de agentes
27 biológicos cimentantes (Silva Neto et al, 2010).

28

29 *b) Análises multivariadas*

30

31 A proximidade dos sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+SOJA (Figura 9, A
32 e B) apontam a influências semelhantes destes sistemas no período de reforma aos atributos
33 físicos do solo. Nesse contexto, o que evidencia que sistemas de manejo, PREP+ADV sejam

1 preferidos em relação à sistema com utilização da soja, ou, da reforma de canavial ausente de
2 rotação de culturas.

3 Assim sendo, ao considerar que o período de reforma na cana-de-açúcar ocorre após
4 cinco ou mais ciclos de colheita, isto aponta que ações de manejo realizadas neste período
5 devem ser eficazes na promoção de melhorias e na atenuação da degradação dos atributos
6 físicos do solo, ao longo dos ciclos de colheita. Nesse sentido, os resultados deste estudo
7 sustentam a possibilidade de haver tais benefícios aos atributos do solo pela utilização do
8 sistema de manejo PREP+ADV. O que representa uma alternativa a atual necessidade do setor
9 sucroenergético, em vista da sua necessidade de aumento de produtividade, expansão para áreas
10 de solos arenosos e pastagens degradadas (Oliveira et al., 2019; Canisares et al., 2020), e dos
11 problemas acarretados nos atributos do solo pelo excesso tráfego de máquinas nas áreas
12 canavieiras (Marasca et al., 2015; Souza et al., 2019).

13 Portanto, sugere-se o aumento na preconização da utilização sistema de manejo que
14 se utilizem de adubos verdes após o preparo convencional no período de reforma, tanto em
15 áreas de expansão, como áreas já cultivadas com cana-de-açúcar, em solos arenosos. Os
16 benefícios proporcionados por este sistema aos atributos físicos do solo, podem alavancar a
17 sustentabilidade da exploração agrícola realizada pelo setor sucroenergético, a fim de atender
18 as demandas crescentes por biocombustíveis e açúcar nas próximas décadas (Andrade Júnior,
19 2019; Silalertruksa & Gheewala, 2019).

20

21 **4.5 CONCLUSÃO**

22

23 Os resultados corroboram a hipótese testada. A utilização de adubos verdes no
24 período de reforma em solos arenosos, pós preparo convencional, contribui para condições mais
25 favoráveis para os atributos físicos do solo. A maior porosidade total, além da maior Ma e Mi,
26 assim como, os maiores IEA exibem que o sistema de manejo com adubo verde mitiga da
27 degradação física do solo ao longo das safras. Já os sistemas de manejo, PREP+CANA e
28 PREP+SOJA, colaboram mais intensamente para essa degradação, exposto pela maior
29 densidade do solo e menor porosidade.

30 Assim, concluímos que sistemas de manejo com adubos verdes pós preparo
31 convencional (PREP+ADV) mitigam a degradação física do solo e colabora para melhores
32 condições físicas para a cultura da cana-de-açúcar em solos arenosos. Além disso, concluímos
33 que a melhoria dos atributos físicos de solos arenosos (Ds, PT, Ma, Mi e RP) na camada de 0 –
34 40 cm, estão correlacionados com aumento dos teores de carbono orgânico.

4.6 AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação em agronomia da Universidade Estadual de Londrina, à CAPES pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor, e ao CNPq pela concessão de bolsa produtividade ao último autor.

Também, aos Professores Drs. Antônio Carlos Azevedo e Mauricio Roberto Cherubin, ambos da Esalq-USP, pelo apoio e execução das análises mineralógicas, realizadas no Laboratório de Gênese de Solo, da Esalq-USP.

4.7 APÊNDICE 1, ARTIGO B: CORRELAÇÕES ENTRE TEOR DE CARBONO ORGÂNICO E OS ATRIBOS FÍSICOS DO SOLO

Tabela 5. Correlações de Pearson (r^2) para entre os atributos físicos do solo (camada de 0 - 40 cm) e os teores de carbono orgânico (camada de 0 - 40 cm).

r^2	CO	DS	MI	MA	PT	RP	IEA
CO	1	-0,62	0,48	0,42	0,52	-0,51	-0,49
<i>p-valor</i>		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4895
DS		1	-0,50	-0,52	-0,55	0,48	0,09
<i>p-valor</i>			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5391
MI			1	0,48	0,96	-0,36	0,17
<i>p-valor</i>				0,0000	0,0000	0,0003	0,2610
MA				1	0,67	-0,30	0,27
<i>p-valor</i>					0,0000	0,0030	0,0589
PT					1	-0,37	0,22
<i>p-valor</i>						0,0002	0,1326
RP						1	0,09
<i>p-valor</i>							0,5392
IEA							1

CO, carbono orgânico; Ds, densidade do solo; MI, microporosidade; MA, macroporosidade; PT, porosidade total; RP, resistência a penetração; e, IEA, índice de estabilidade de agregados.

4.8 REFERÊNCIAS

- 1
2
- 3 Abreu, S. L., Reichert, J. M., & Reinert, D. J. (2004). Escarificação mecânica e biológica para
4 a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira**
5 **de Ciência do Solo**, 28(3), 519-531. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>
6
- 7 Agritempo. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: Início >> Acesso
8 aos Estados - SP >> Pesquisa de dados meteorológicos <
9 [https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt_](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt_br)
10 [br](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt_br) > Acesso em 24 de agosto de 2020.
11
- 12 Almeida, B. G., Viana, J. H. M., Teixeira, W. G., Donagemma, G. K. (2017). Densidade do
13 solo. In: Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (Org.). **Manual de**
14 **Métodos de Análise de Solo**. 3ªed.Brasília, DF: Embrapa p. 65-75.
15
- 16 Almeida, B. G., Viana, J. H. M., Teixeira, W. G., Donagemma, G. K. (2017). Porosidade do
17 solo. In: Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (Org.). **Manual de**
18 **Métodos de Análise de Solo**. 3ªed.Brasília, DF: Embrapa p. 82-94.
19
- 20 Ambrosano, E. J., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammas, E. A., Dias, F. L. F., Rossi,
21 F., Trivelin, P. C. O., Muraoka, T., Sachs, R. C. C., Azcón, R. (2011) Produtividade da cana-
22 de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, 70:810-818.
23 <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012>
24
- 25 Barbosa, L. C., Souza, Z. M., Franco, H. C. J., Otto, R., Neto, J. R., Garside, A. L., Carvalho,
26 J. L. N. (2018). Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil.
27 **Geoderma Reg.** 13, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.03.002>
28
- 29 Barbosa, L. C., Magalhães, P. S. G., Bordonal, R. O., Cherubin, M. R., Castioni, G. A. F.,
30 Tenelli, S., Franco, H. C. J., Carvalho, J. L. N. (2019). Soil physical quality associated with
31 tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.
32 195, p. 104383. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>
33
- 34 Blanco-Canqui, H., Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**.
35 Volume 326, pp. 164-200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
36
- 37 Bolonhezi, D., Goncalves., N. H. (2015). Sucessão e Rotação de Culturas na Produção de Cana-
38 de-Açúcar. In: Belardo, G. C., Cassia, M. T., Silva, R. P. (Org.). **Processos Agrícolas e**
39 **Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1ed. Jaboticabal: SBEA - Sociedade Brasileira de
40 Engenharia Agrícola. v. 1, p. 219-242.
41
- 42 Bordonal, R. O., Menandro, L. M. S., Barbosa, L. C., Lal, R., Milori, D. M. B. P., Kolln, O. T.,
43 Franco, H. C. J., Carvalho, J. L. N. (2018). Sugarcane yield and soil carbon response to straw

- 1 removal in south-central Brazil, **Geoderma**, Volume 328, pp. 79-90.
2 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.003>.
3
- 4 Braida, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Sequinatto, L. (2008). Elasticidade do solo em
5 função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,
6 32(2), 477-485. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200002>
7
- 8 Braida, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Soares, J. M. D. (2007). Coesão e atrito interno
9 associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso. **Ciência Rural**,
10 37(6), 1646-1653. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600022>
11
- 12 Braida, J. A., Reichert, J. M., Veiga, M., Reinert, D. J. (2006). Resíduos vegetais na superfície
13 e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor.
14 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30(4), 605-614. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001)
15 [06832006000400001](https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001)
16
- 17 Cavalieri, K. M. V., Carvalho, L. A., Silva, A. P., Libardi, P. L., Tormena, C. A. (2011).
18 Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira**
19 **de Ciência do Solo**, 35(5), 1541-1550. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008>
20
- 21 Cerri, C.C., Galdos, M.V., Maia, S.M.F., Bernoux, M., Feigl, B.J., Powelson, D. and Cerri,
22 C.E.P. (2011). Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an
23 examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, 62: 23-28.
24 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>
25
- 26 Chaplot, V., Cooper, M. (2015) Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from
27 soils. **Geoderma**, Volumes 243–244, p. 205-213.
28 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.013>.
29
- 30 Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Karlen, D. L., Pavinato, P. S., Rodrigues, M.,
31 Davies, C. A., Cerri, C. C. (2016). Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane
32 expansion in weathered Brazilian soils. **Geoderma**, v. 265, p. 27-38, 2016.
33 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.017>
34
- 35 Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Oliveira, D. M. S., Davies, C. A., Cerri, C.
36 C. (2015). Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil
37 chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 211, 173-184,
38 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.006>.
39
- 40 Cherubin, M.R., Carvalho, J. L. N., Cerri, C. E. P., Nogueira, L. A. H., Souza, G. M., Cantarella,
41 H. (2021). Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy.
42 **Land**, 10, 72. <https://doi.org/10.3390/land10010072>
43

- 1 Coleti, J. T. O preparo do solo sob a ótica conservacionista. (2010). In: Dinardo-Miranda, L.
2 L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. 1ed. Campinas:
3 Instituto Agrônomo de Campinas. v. 1, p. 573 – 583.
4
- 5 CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Series históricas. Disponível em: <
6 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras> >. Acesso em 10 de
7 dezembro de 2019.
8
- 9 Cury, T. N., De Maria, I. C., Bolonhezi, D. (2014). Biomassa radicular da cultura de cana-de-
10 açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de**
11 **Ciência do Solo**, 38(6), 1929-1938. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600027>
12
- 13 Dignac, MF., Derrien, D., Barré, P. et al. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms,
14 effects of agricultural practices and proxies. **A review. Agron. Sustain. Dev.** 37, 14.
15 <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>
16
- 17 Donagemma, G. K., Freitas, P. L. de, Balieiro, F. de C., Fontana, A., Spera, S. T., Lumberras,
18 J. F., Viana, J. H. M., Araujo filho, J. C. de, Santos, F. C. dos, Albuquerque, M. R. de, Macedo,
19 M. C. M., Teixeira, P. C., Amaral, A. J., Bortolon, E., Bortolon, L. (2016). Caracterização,
20 potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**
21 vol.51, n.9, pp.1003-1020. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001>.
22
- 23 Dutartre, Ph., Bartoli, F., Andreux, F., Portal, J. M., Ange, A. (1993). Influence of content and
24 nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. **Geoderma.**
25 Soil Structure/Soil Biota Interrelationships, 459-478. [https://doi.org/10.1016/B978-0-444-](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81490-6.50037-6)
26 [81490-6.50037-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81490-6.50037-6).
27
- 28 Fontana, A., Campos, Boas, D. V. (2017). Carbono Orgânico. In: Teixeira, P. C., Donagemma,
29 G.K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**.
30 3ed.Brasília: Embrapa, 2017, v., p. 360-367.
31
- 32 Galdos, M.V., Cerri, C.C., Cerri, C.E.P. (2010). Simulation of sugarcane residue decomposition
33 and aboveground growth. **Plant Soil** 326, 243–259. [https://doi.org/10.1007/s11104-009-0004-](https://doi.org/10.1007/s11104-009-0004-3)
34 [3](https://doi.org/10.1007/s11104-009-0004-3)
35
- 36 Hillel, D. (1998). Soil dynamics: Stress, strain and strength. In : Hillel, D. **Environmental soil**
37 **physics**. New York, Academic Press, p. 129 – 172.
38
- 39 IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. BDIA, Banco de dados de informações
40 ambientais. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia> > [Acesso em
41 24 de julho de 2019].
42

- 1 Lapen, D. R., Topp, G. C., Gregorich, E. G., Curnoe, W. E. (2004). Least limiting water range
2 indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage**
3 **Research**. Volume 78, 151-170. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.004>.
4
- 5 Melo, P. L. A., Cherubin, M. R., Gomes, T. C. A., Lisboa, I. P., Satiro, L. S. P., Cerri, C. E.,
6 Siqueira-Neto, M. (2020). Straw Removal Effects on Sugarcane Root System and Stalk Yield.
7 **Agronomy**, 10, 1048. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071048>
8
- 9 Menandro, L.M.S., de Moraes, L.O., Borges, C.D. (2019). Soil Macrofauna Responses to
10 Sugarcane Straw Removal for Bioenergy Production. **Bioenerg. Res.** 12, 944–957.
11 <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10053-2>
12
- 13 Mendonça, E. S., Rowell, D. L., Martins, A. G., Silva, A. P. (2006). Effect of pH on the
14 development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil,
15 **Geoderma**, 132, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.05.001>.
16
- 17 Meurer, J. E., Rheinheimer, R. D., Bissani, C. A (2013). Fenômenos de sorção em solos. In:
18 Meurer, J. E. **Fundamentos de química de solo**. 5ed. Porto Alegre, Evangraf. pp.113-154.
19
- 20 Murphy B. W. (2015) Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis
21 on Australian soils. **Soil Research** 53, 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
22
- 23 Nicoloso, R. S., Amado, T. J. C., Schneider, S., LanzaNova, M. E., Girardello, V. C.,
24 Bragagnolo, J. (2008). Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos
25 atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista**
26 **Brasileira de Ciência do Solo**, 32(4), 1723-1734. [https://dx.doi.org/10.1590/S0100-](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037)
27 [06832008000400037](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037)
28
- 29 Oliveira, D. M. S., Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Santos, A. S., Gelain, J. G., Dias, N. M.
30 S., Diniz, T. R., Almeida, A. N., Feigl, B. J., Davies, C. A., Paustian, K., Karlen, D. L., Smith,
31 P., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P. (2019). Is the expansion of sugarcane over pasturelands a
32 sustainable strategy for Brazil's bioenergy industry? **Renewable & Sustainable Energy**
33 **Reviews**, v. 102, p. 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.012>
34
- 35 Poeplau, C., Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover
36 crops—a meta-analysis. **Agric. Ecosyst. Environ.** 200, 33 – 41.
37 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
38
- 39 Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil
40 functions: A review. **Geoderma**. Volume 314, 122-137.
41 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
42
- 43 Reichert, J. M., Kaiser, D. R., Reinert, D. J., Riquelme, U. F. B. (2009). Variação temporal de
44 propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo.

- 1 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(3), 310-319. [https://dx.doi.org/10.1590/S0100-](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013)
2 [204X2009000300013](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013)
3
- 4 Reichert, J. M., Mentges, M. I., Rodrigues, M. F., Cavalli, J. P., Awe, G. O., Mentges, L. R.
5 (2018). Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry
6 organic matter, bulk density and moisture. **Catena**, 165, pp. 345-357,
7 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.014>
8
- 9 Reichert, J. M., Reinert, D. J., Braidá, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas
10 agrícolas. **R. Ci. Amb.**, 27:29-48, 2003.
11
- 12 Rosim, D. C., De Maria, I. C., Silva, R. L., Silva, Á. P. (2012). Compactação de um latossolo
13 vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície.
14 **Bragantia**, 71(4), 502-508 <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052013005000003>
15
- 16 Ross, J., Moroz, I. (2011). Mapa Geomorfológico Do Estado De São Paulo. **Revista Do**
17 **Departamento De Geografia**, 10, 41-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>
18
- 19 Santos, O. A. Q., Tavares, O. C. H., García, A. C., Rossi, C. Q., Moura, O. V. T., Pereira, W.,
20 Rodrigues Pinto, L. A. S., Berbara, R. L. L., Pereira, M. G. (2020). Fire lead to disturbance on
21 organic carbon under sugarcane cultivation but is recovered by amendment with vinasse.
22 **Science of The Total Environment**, Volume 739.
23 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140063>.
24
- 25 Signor, D., Zani, C. F., Paladini, A. A., Deon, M. D., Cerri, C. E. P. (2014). Estoques de carbono
26 e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista**
27 **Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5), 1402-1410. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005)
28 [06832014000500005](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005)
29
- 30 Silva, A. P. M., Bono, J. A. M., Pereira, Francisco de A. R. (2014). Aplicação de vinhaça na
31 cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de**
32 **Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(1), 38-43. [https://doi.org/10.1590/S1415-](https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100006)
33 [43662014000100006](https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100006)
34
- 35 Silva, A. P., Babujia, L. C., Franchini, J. C., Ralisch, R., Hungria, M., Guimarães, M. F. (2014).
36 Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management
37 systems. **Soil and Tillage Research**, Volume 142, 42-53.
38 <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>.
39
- 40 Silva, I. R., Mendonça, E. Sá. (2007). Matéria Orgânica do Solo. In: Novais, R.F., Alvarez V.,
41 V.H., Barros, N.F., Ferreira, R. L., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do**
42 **Solo**. 1ed.Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v., p. 275-374.
43

- 1 Silva, P. C. G., Tiritan, C. S., Echer, F. R., Cordeiro, C. F. S., Rebonatti, M. D., Santos, C. H.
2 (2020). No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils
3 under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, Volume 258.
4 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107947>.
- 5
- 6 Soane, B. D. (1990). The role of organic matter in soil compactibility: A review of some
7 practical aspects. **Soil and Tillage Research**. Volume 16, 179-201.
8 [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90029-D](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90029-D).
- 9
- 10 Souza, L. C., Fernandes, C., Moitinho, M. R. et al. (2019). Soil carbon dioxide emission
11 associated with soil porosity after sugarcane field reform. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**
12 24, 113–127. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9800-5>
- 13
- 14 Stolf, R., Murakami, J. H., Brugnaro, C. S., L. C. F., Margarido, L. A. C. (2014). Penetrômetro
15 de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de**
16 **Ciência do Solo**, 38(3), 774-782. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>
- 17
- 18 Suzuki, L. E. A. S., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Rodrigues, M. F. (2019). Caracterização
19 física dos solos arenosos do bioma Pampa. **Solos arenosos do Bioma Pampa Brasileiro**.
20 1ed.Santa Maria: Editora UFSM, v. 1, p. 147-184.
- 21
- 22 Tavares Filho, J. (2014). IV) Consistência e compressão do solo. In: _____. **Física e**
23 **Conservação do Solo e Água**. 1. ed. Londrina: EDUEL-Editora da Universidade de Londrina,
24 2014. v. 1. p. 67 – 82.
- 25
- 26 Tavares Filho, J., Barbosa, G. M. C., Ribon, A. A. (2010). Water-dispersible clay in soils treated
27 with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(5), 1527-1534.
28 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500005>
- 29
- 30 Teixeira, P. C., Campos, D. V. B., Bianchi, S. R., Perez, D. V., Saldanha, M. F. C. (2017)
31 Cátions trocáveis. In: Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Org.).
32 **Manual de métodos de análise de solo**. 3ed.Brasília: Embrapa, v. p. 209-232
- 33
- 34 Tenelli, S., de Oliveira Bordonal, R., Barbosa, L.C. (2019). Can reduced tillage sustain
35 sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? **Bioenerg. Res.** 12, 764–777
36 <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09996-3>
- 37
- 38 Urquiaga, S., Alves, B. J. R., Jantalia, C. P., Boddey, R. M. (2010). Variações nos Estoques de
39 Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa em Solos das Regiões Tropicais e Subtropicais
40 do Brasil: Uma Análise Crítica. Piracicaba - SP: **International Plant Nutrition Institute**,
41 (Informações Agronômicas, 130).
- 42

- 1 van Lier, Q. J. (2001). Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista**
2 **Brasileira de Ciência do Solo**, 25(1), 233-238. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100025)
3 [06832001000100025](https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100025)
4
- 5 van Lier, Q. J. (2010). Gases no solo. In: _____ (Org.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade
6 Brasileira de Ciência do Solo, 2010, v. 1, p. 153-176.
7
- 8 Vasconcelos, R. F. B., Cantalice, J. R. B., Moura, G. B. A., Rolim, M. M., Montenegro, C. E.
9 V. (2012). Compressibilidade de um Latossolo Amarelo distrocóeso não saturado sob diferentes
10 sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36(2), 525-536.
11 <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200022>
12
- 13 Viadana, A. G., Cavalcanti, A. P. B. (2007). A Teoria dos Refúgios Florestais Aplicada ao
14 Estado de São Paulo. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 8-9, p. 61-80.
15
- 16 Vischi Filho, O. J., Souza, Z. M., Silva, R. B., Lima, C. C., Pereira, D. M. G., Lima, M. E.,
17 Sousa, A. C. M., Souza, G. S. (2015). Capacidade de suporte de carga de Latossolo Vermelho
18 cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. **Pesquisa Agropecuária**
19 **Brasileira**, 50(4), 322-332. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000400008>
20
- 21 Vogelmann, E. S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Consensa, C.O.B., Oliveira, A. É., Awe, G.
22 O., Mataix-Solera, J. (2013). Threshold water content beyond which hydrophobic soils become
23 hydrophilic: The role of soil texture and organic matter content. **Geoderma**, Volumes 209–210,
24 177-187. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.019>.
25
- 26 Wutke, E. B., Calegari, A., Wildner, L. P. (2014) Espécies de adubos verdes e plantas de
27 cobertura e recomendações para seu uso. In: Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F.
28 Donizeti, J. A. C. (Org.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos**
29 **e prática**. 1ed. Brasília - DF: Embrapa, v. 1, p. 59-167.
30
- 31 Yost, J. L., Hartemink, A. E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances**
32 **in Agronomy**. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004> .
33
- 34 Huang, J., Hartemink, A., E. (2020). Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-**
35 **Science Reviews**, 208,103295. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>.
36
- 37 Zani, C. F., Barneze, A. S., Robertson, A. D., Keith, A. M., Cerri, C. E. P., McNamara, N. P.,
38 Cerri, C. C. (2018). Vinasse application and cessation of burning in sugarcane management can
39 have positive impact on soil carbon stocks. **PeerJ** 6:53-98 <https://doi.org/10.7717/peerj.5398>
40
- 41 Zhang, B., Horn, R. and Hallett, P.D. (2005). Mechanical Resilience of Degraded Soil Amended
42 with Organic Matter. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 69: 864-871.
43 <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.0256>
44

- 1 Zhang, H., Hartge, K.H., Ringe, H. (1997), Effectiveness of Organic Matter Incorporation in
2 Reducing Soil Compactibility. **Soil Science Society of America Journal**, 61: 239-245.
3 <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010033x> .
4
- 5 Zotarelli, L., Zatorre, N. P., Boddey, R. M. Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Franchini, J. C., Alves,
6 Bruno J. R. (2012). Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop
7 rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**,
8 v. 1. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>
9
10
11

1 **5. ARTIGO C) FERTILIDADE DE SOLOS ARENOSOS EM DIFERENTES**
2 **SISTEMAS DE MANEJO NA REFORMA CONVENCIONAL CANAVIEIRA**

3
4
5 **HIGHLIHTS**
6

- 7
- 8 • O preparo convencional seguido do plantio da cana eleva o acúmulo de C e N;
 - 9
 - 10 • O preparo convencional seguido da cana-de-açúcar aumenta a fertilidade do solo;
 - 11
 - 12 • O uso da soja após o preparo convencional diminui a acidez e aumenta a V%;
 - 13
 - 14 • O preparo convencional com adubos verdes eleva a disponibilidade de P, S, Mn e Zn;
 - 15
 - 16 • O preparo convencional com adubos verdes promove aumento no acúmulo de C e N.
- 17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalária e soja na reforma convencional canavieira**
2 **em solos arenosos: um estudo de caso.** 2021. 175 f. Tese de Doutorado em Agronomia –
3 Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

4 5 **RESUMO**

6
7 A presença da cana-de-açúcar em solos arenosos exige práticas de manejo capazes de elevar o
8 nível de fertilidade destes solos. Nesse sentido, a presente pesquisa teve por objetivo analisar
9 os efeitos nos atributos químicos de solos arenosos sob diferentes sistemas de manejos na
10 reforma convencional canavieira. Para isso, sob condições de Argissolo Vermelho distrófico
11 arênico, após 36 meses do período de reforma, foram comparadas, três áreas sob diferentes
12 sistemas de manejo na reforma convencional, sendo estas: i) Preparo Convencional + Cana
13 (PREP+CANA); ii) Preparo Convencional + Adubo Verde (*Crotalária spectabilis*)
14 (PREP+ADV); e, iii) Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA). Nas camadas de 0 – 10, 10
15 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm, foram analisadas: teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio
16 total; acidez (pH e H+Al); teores de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}); CTC Potencial;
17 saturação por bases; teores disponíveis de fósforo e enxofre; e, teores de micronutrientes
18 metálicos (Fe, Mn e Zn). Os resultados apontaram que PREP+CANA, contribui para maior
19 acúmulo C e N (teores e estoques), bem como nos melhores níveis de fertilidade: menor acidez,
20 maior V% e maiores disponibilidades de P e S. Já o sistema de manejo PREP+ADV, promove
21 incrementos ao acúmulo de C e N, bem como, o seu uso resulta na maior disponibilidade de P,
22 S, Mn e Zn. Todavia, o PREP+ADV, é o qual infere no menor nível de fertilidade: maior acidez
23 e menor V%. Por sua vez, o PREP+SOJA, denota, assim como, o PREP+CANA, nos melhores
24 níveis de fertilidade, porém, é o sistema com o menor acúmulo de C e N. Para mais, existe uma
25 associação positiva dos atributos químicos na camada de 0 – 40 cm, com aumento dos teores
26 de carbono orgânico. E por meio de análises multivariadas, pode ser constatado que os sistemas
27 PREP+CANA e PREP+SOJA, são mais semelhantes. Dessa forma, concluímos que o sistema
28 de manejo PREP+CANA colabora para melhores condições para os atributos químicos do solo
29 após o período de reforma em solos arenosos, enquanto os sistemas PREP+ADV e
30 PREP+SOJA, inferem em efeitos contrastantes aos atributos químicos de solos arenosos.

31
32 **Palavras-chaves:** carbono, nitrogênio, acidez, fósforo, micronutrientes.
33
34
35

1 MORAES, Lucas Augusto de Assis. **Crotalaria and soybean in conventional sugarcane**
2 **reform in sandy soils: a case study**. 2021. 175 sheets. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State
3 University of Londrina, Londrina, 2021

4 5 **ABSTRACT**

6
7 The presence of sugarcane in sandy soils requires management practices capable of raising the
8 level of fertility in these soils. In this sense, this research aimed to analyze the effects on
9 chemical attributes of sandy soils under different management systems in conventional
10 sugarcane reform. For this, under conditions of Kanhaplic Haplustults (Ultisol), after 36 months
11 of the reform period, three areas under different management systems in the conventional
12 reform were compared, namely: i) Conventional Preparation + Sugarcane (PREP+CANA); ii)
13 Conventional Preparation + Green Fertilizer (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); and iii)
14 Conventional Preparation + Soybean (PREP+SOYBEAN). In the layers of 0 – 10, 10 – 20, 20
15 – 30 and 30 – 40 cm, the following were analyzed: levels and stocks of organic carbon and total
16 nitrogen; acidity (pH and H+Al); basic cation contents (Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺); Potential CTC;
17 base saturation; available phosphorus and sulfur contents; and levels of metallic micronutrients
18 (Fe, Mn and Zn). The results showed that PREP+CANA contributes to greater accumulation of
19 C and N (contents and stocks), as well as to better fertility levels: lower acidity, higher V% and
20 greater availability of P and S. ADV promotes increases in the accumulation of C and N, as
21 well as its use results in greater availability of P, S, Mn and Zn. However, PREP+ADV is the
22 one which infers the lowest level of fertility: higher acidity and lower V%. In turn,
23 PREP+SOYA denotes, as well as PREP+CANA, in the best fertility levels, however, it is the
24 system with the lowest accumulation of C and N. Furthermore, there is a positive association
25 of chemical attributes in 0 – 40 cm layer, with increased organic carbon content. And through
26 multivariate analysis, the PREP+CANA and PREP+SOYBEAN systems are more similar.
27 Thus, we conclude that the PREP+CANA management system contributes to better conditions
28 for the chemical attributes of the soil after the reform period in sandy soils, while the
29 PREP+ADV and PREP+SOYBEAN systems infer in contrasting effects to the chemical
30 attributes of sandy soils.

31

32 **Keywords:** carbon, nitrogen, acidity, phosphorus, micronutrients.

33

34

5.1 INTRODUÇÃO

A mineralogia predominantemente quartzosa e o baixo acúmulo de matéria orgânica dos solos arenosos, constituem os fatores preponderantes a limitada fertilidade destes solos, quando comparados a solos argilosos (Yost & Hartemink, 2019). Está limitada fertilidade, é então relacionada principalmente a baixa capacidade de retenção de cátions nestes solos (Donagemma et al., 2016).

Tais circunstâncias favorecem a lixiviação de cátions básicos (eg. Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) e o retorno da acidez num curto espaço de tempo (Pauletti et al., 2014). Além disso, elementos de comportamento aniônico no solo, como fósforo, enxofre, boro e nitrogênio, além dos micronutrientes, são afetados negativamente pela baixa reatividade e acúmulo de matéria orgânica nos solos arenosos (Vitti et al., 2015).

Diante disso, tal questão se relaciona ao atual uso e ocupação do solo pela cana-de-açúcar no Brasil. Isso porque, além de já ser cultivada em área majoritariamente sob solos arenosos (Trindade & Castro, 2015), sua expansão nos últimos 10 anos foi direcionada nestes solos (Cherubin et al., 2021).

Sendo assim, a presença da cana-de-açúcar em solos arenosos traz consigo a necessidade de sistemas de manejo que elevem os níveis de fertilidade nestas áreas. Haja visto um aspecto de suma importância, uma vez que melhorias a fertilidade podem representar aumentos na produtividade da cultura, e com isso, elevar o número de ciclos de cultivo. Logo, resultando em impactos econômicos positivos a atividade sucroenergética.

Na cana-de-açúcar, as maiores intervenções no solo para aumento da fertilidade ocorrem no período de reforma. Posto que é neste período a possibilidade da incorporação de corretivos e aplicação de adubos em área total, devido a semi-perenidade da cultura (Barbosa et al., 2011).

Atualmente neste período de reforma são desempenhadas, dentre vários sistemas de manejo no período de reforma, três sistemas de manejo: o preparo convencional, seguido do plantio da cana-de-açúcar; o preparo convencional, seguido do plantio de adubos verdes e após, o plantio direto da cana sobre o massa verde das plantas de cobertura; e, o preparo convencional, seguido do cultivo da soja, em que, depois da colheita da oleaginosa, ocorre o plantio da cana-de-açúcar, em modo cultivo mínimo (Bolonhezi & Gonçalves, 2015).

O sistema preparo convencional, seguido do plantio da cana-de-açúcar, por vezes é escolhido em razão da agilidade das operações e da ausência da necessidade de planejamento para o uso de adubos verdes ou da exploração de culturas comerciais; além do bom controle de

1 pragas exercidos neste sistema (Bolonhezi & Gonçalves, 2015). Além disso, Coleti (2010)
2 destaca que neste sistema de manejo, o uso de subprodutos orgânicos da agroindústria, como a
3 vinhaça e a torta filtro colaboram para incrementos nos teores de matéria orgânica no solo.

4 Já o sistema de manejo, preparo convencional somado a utilização de adubos verdes
5 concorre para prática da rotação de culturas. O fato de o plantio da cana-de-açúcar ser realizado
6 em modo plantio direto e efeitos como, adição de carbono e nitrogênio, ciclagem de nutrientes
7 e aumento na atividade microbiana, incentivam muitas unidades sucroenergéticas a optarem
8 por este sistema de manejo (Bolonhezi et al., 2019).

9 E quanto ao preparo convencional seguido do cultivo da soja, este possui como
10 maior ponto positivo os ganhos econômicos proporcionados por este sistema de manejo. Tanto
11 o arrendamento de terras, como a comercialização da oleaginosa, proporcionam as usinas
12 aumentos a sua rentabilidade financeira (Silva et al., 2012; Bolonhezi & Gonçalves, 2015). Por
13 parte da cadeia da sojicultura, há incentivos adicionais para expansão deste sistema de manejo,
14 uma vez o cultivo da soja em áreas canavieiras representa aumento da produção.

15 Dessa maneira, face a estes três sistemas de manejo no período de reforma
16 canavieiro e a necessidade da melhoria da fertilidade de solos arenosos para o cultivo da cana-
17 de-açúcar, tem-se uma questão: qual sistema de manejo na reforma canavieira pode promover
18 as melhores condições para os atributos químicos de solos arenosos? Talvez, o uso de adubos
19 verdes, represente a melhor opção de manejo, em função dos seus benefícios ao solo: adição de
20 matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e aumento da atividade microbiana (Das et al., 2020).

21 Também, há os efeitos da matéria orgânica a CTC do solo. Conclusão de Costa et
22 al (2020) demonstram que em solos provenientes do Arenito Caiuá, a matéria orgânica
23 contribuir em mais de 45 % da CTC. Ramos et al (2018) por sua vez, concluíram que adição
24 constante de matéria orgânica, no período de dois anos, em Latossolo, textura média, acarretou
25 efeito linear no aumento da CTC em função da matéria orgânica. Por conseguinte, com efeitos
26 diretos na maior retenção de cátions básicos.

27 Além disso, a matéria orgânica é principal fonte de N e S (Balota et al., 2014;
28 Rosolem et al., 2017) E proporciona efeitos positivos para disponibilidade fósforo e dos teores
29 de micronutrientes (Fageria, 2014; Zhu et al., 2018). Assim, fatores preponderantes a melhoria
30 da fertilidade do solo e para nutrição das culturas.

31 Face ao exposto, a presente pesquisa tem por hipótese que o sistema de manejo com
32 uso de adubo verde no período de reforma proporciona as melhores condições para os atributos
33 químicos do solo. Nesse sentido, com objetivo de analisar os efeitos nos atributos químicos de
34 solos arenosos sob diferentes sistemas de manejos na reforma convencional canavieira.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 REGIÃO DE ESTUDO E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

O estudo foi conduzido na região noroeste do Estado de São Paulo, em áreas situadas no município de Valparaíso, sob Argissolo Vermelho distrófico arênico. O bioma da região é do tipo cerrado (Viadana; Cavalcanti, 2007) e o clima, de acordo com Köppen, classificado como Aw – tropical úmido com inverno seco. A temperatura anual apresenta máxima, média e mínima, respectivamente de 31°C, 24°C e 18 °C. E a precipitação anual volume de 1200 a 1500 mm, com o mês mais seco precipitação inferior a 60 mm (Agritempo, 2019) (Figura 1, A). O balanço hídrico do município demonstra que de abril a dezembro há presença de déficit hídrico (Figura 1, B).

A formação geológica da região é constituída pelo Grupo Bauru, formação Araçatuba, que pertence a Bacia Sedimentar do Paraná; caracterizada como Planalto Ocidental Paulista, com litologia dominante de Arenitos de siltitos e argilitos (Ross; Moroz, 1999; IBGE, 2019). Quanto a mineralogia, foram identificados – em ordem decrescente, a presença dos seguintes minerais: quartzo > caulinita > goethita > gibbsita = hematita (Figura 2, A e B).

5.2.2 ÁREAS DE ESTUDO

Foram selecionadas três áreas de produção de cana-de-açúcar, com histórico de uso e ocupação por pastagens de 1970 a 2000. Desde então, as áreas foram utilizadas para cultivo de cana-de-açúcar, sendo de 2000 a 2010, a colheita realizada sob cana-queimada e a partir de 2011 sob cana-crua. Para o cultivo da cultura, as áreas eram implantadas com espaçamento entre sulcos de 1,50 m e submetidas a cinco ciclos de colheitas. Posteriormente, áreas de produção eram reformadas.

As três áreas de estudo foram divididas conforme o sistema de manejo empregado no período de reforma, sendo: i) Preparo Convencional + Cana (PREP+CANA); ii) Preparo Convencional + Adubo Verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); e, iii) Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA) (Figura 3). A localização e os atributos do solo das áreas pesquisadas estão apresentados na Tabela 1.

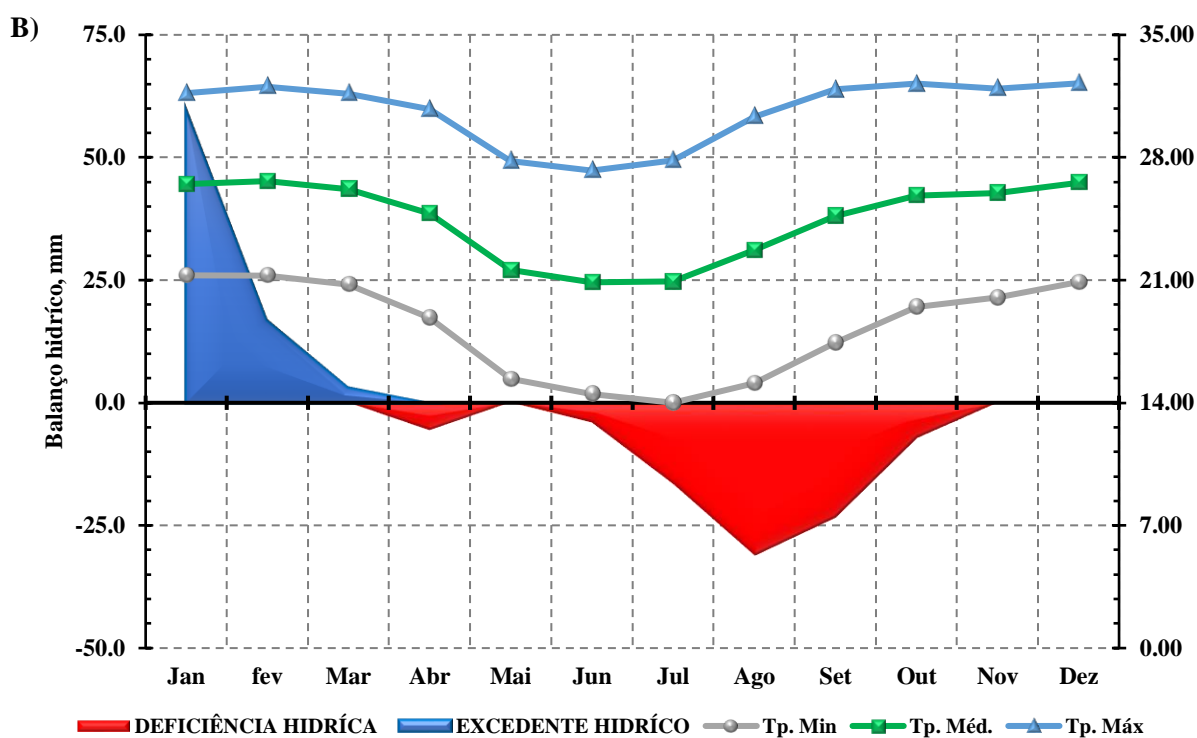
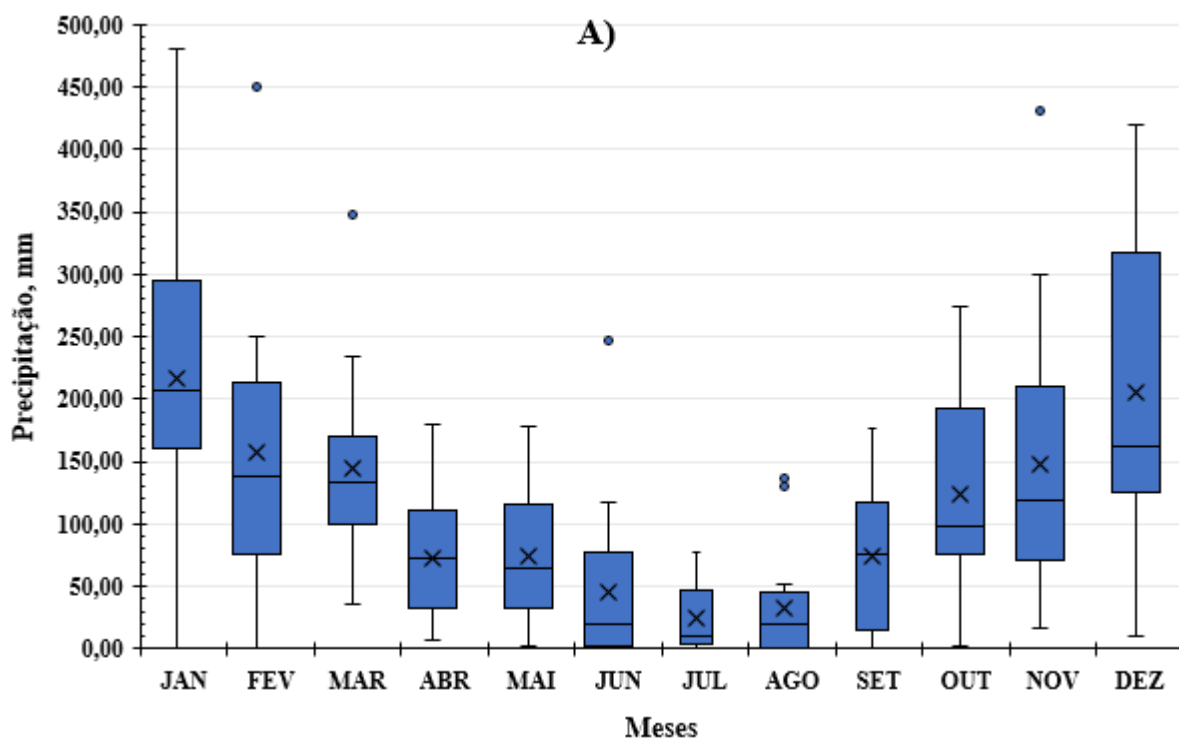


Figura 1. Precipitação (A) e o balanço hídrico e a temperatura (B) do município de Valparaíso-SP, no período de 2004 a 2019. Para o gráfico box-plot, Figura A, tem-se que seus constituintes representam: a caixa, 50 % dos valores, ou a distância interquartil, designada entre o 1º e 3º quartil; a borda inferior da caixa, o 1º quartil (Q1); o símbolo “X”, a média; a linha contínua dentro da caixa, a mediana, ou o 2º quartil (Q2); e, a borda superior da caixa, o 3º quartil (Q3). As barras abaixo e acima da caixa, representam respectivamente, o limite inferior (LI) e o limite superior (LS), que correspondem aos valores 1,50 vezes a distância interquartil. E os valores que estão fora deste intervalo, do LI e LS, são considerados outliers, e estão representados pelo símbolo “bolinha”. **OBS:** $LI = \{[1,50 * (Q3 - Q1)] + Q1\}$; $LS = \{[1,50 * (Q3 - Q1)] + Q3\}$. **Fonte:** Agritempo (Estação INMET, Valparaíso-SP (OMM: 86838)).

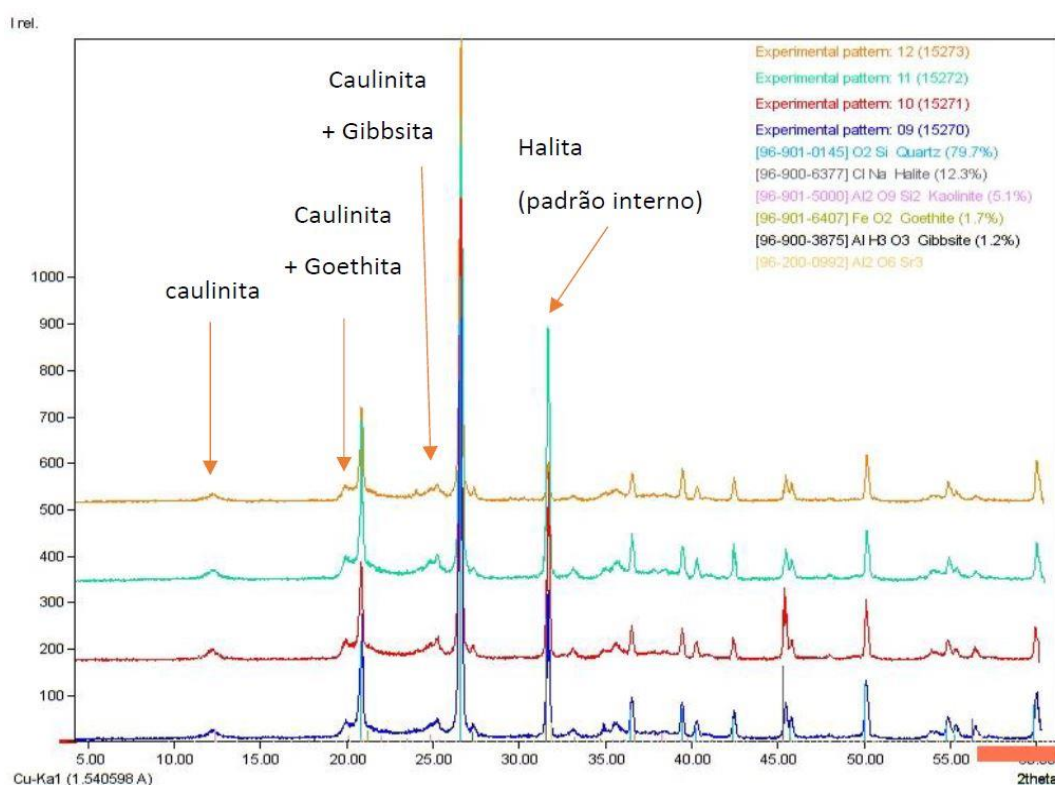
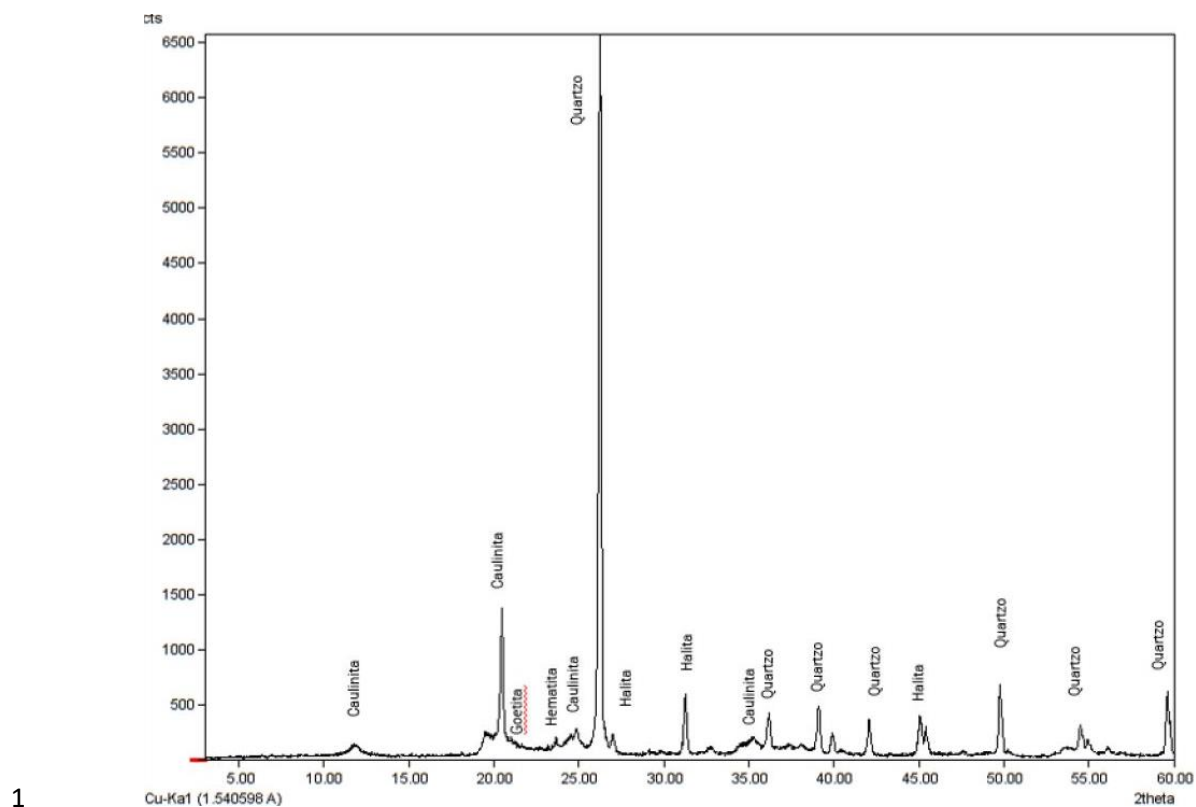
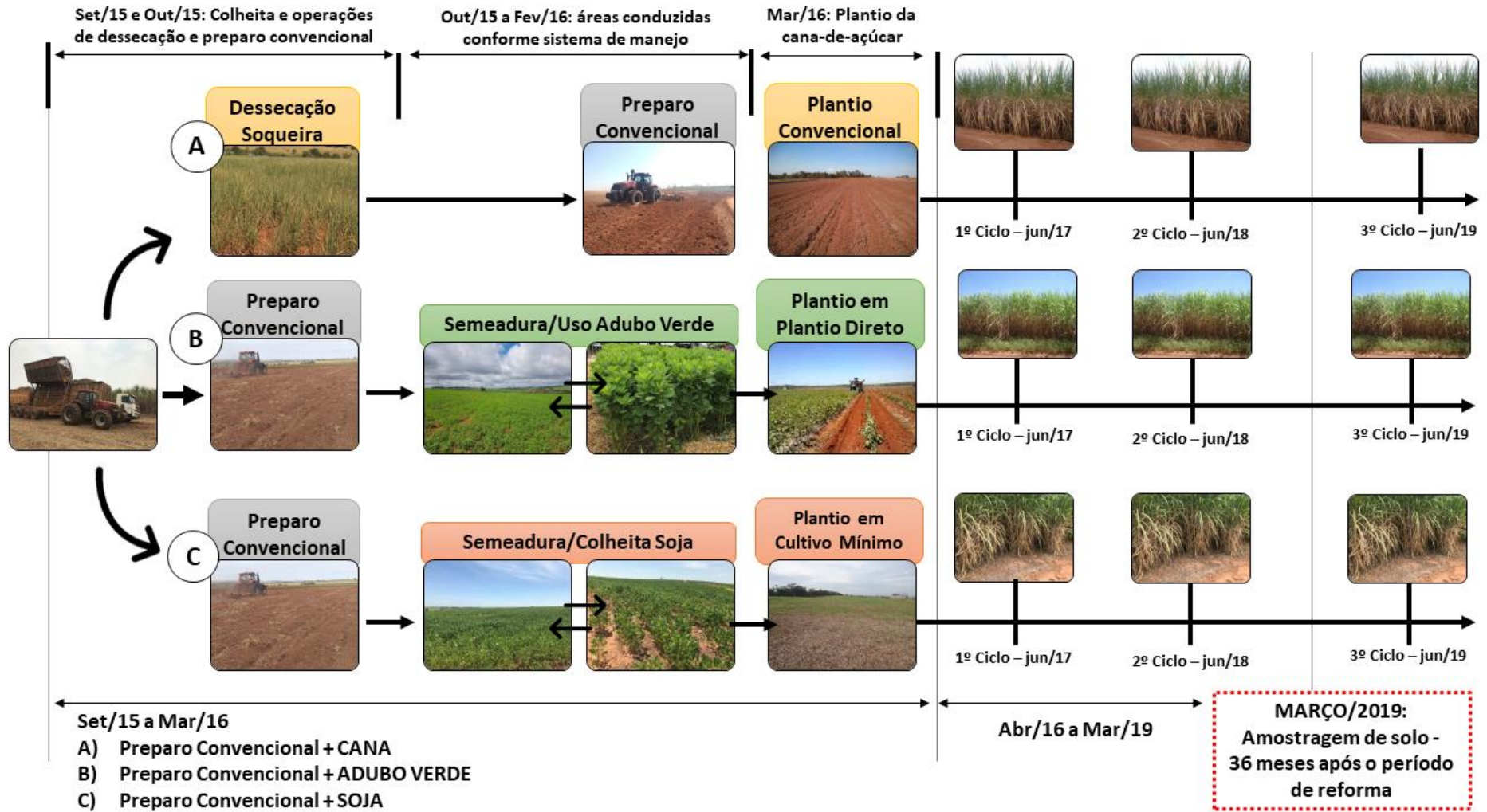


Figura 2. Caracterização mineralógica do Argissolo Vermelho distrófico arênico, na camada de 30 – 40 cm, região noroeste do Estado de São Paulo. **A)** Picos de quartzo; **B)** Picos dos demais argilominerais. Determinações por meio de difratometria diferencial de raios X (Schulze, 1984) com equipamento Rigaku Miniflex II, radiação de $\text{CuK}\alpha$, operado a 30 kV e 15mA, com filtro de Ni e monocromador de grafite. Determinações realizadas no Laboratório de Gênese de Solos / Esalq-USP.



1

2 **Figura 3.** Descrição das áreas de reforma em solos arenosos conduzidas sob três sistemas de manejo no período de reforma: **A)** Preparo
 3 Convencional + Cana (PREP+CANA); **B)** Preparo Convencional + Adubo verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV); e, **C)** Preparo
 4 Convencional + Soja (PREP+SOJA).

1 **Tabela 1.** Atributos do solo das áreas em estudo situadas sobre Argissolo Vermelho distrófico arênico.

Coordenadas	Alt. m	Prof. m	Areia			Silte	Argila	Classif.	Dp kg dm ⁻³	▲pH	PCZ	Ds kg dm ⁻³
			grossa %	fina	total							
PREP + CANA												
21° 6' 41" S	440	0,00 - 0,10	63	6	69	3	28	Franco-argiloarenosa	2,69	-0,64	5,48	1,47
50° 45' 24" O		0,10 - 0,20	54	13	67	8	25	Franco-argiloarenosa	2,67	-0,72	5,33	1,63
		0,20 - 0,30	57	10	67	11	22	Franco-argiloarenosa	2,68	-0,43	4,81	1,62
		0,30 - 0,40	55	10	65	5	30	Franco-argiloarenosa	2,67	-0,40	4,22	1,68
PREP + ADV												
21° 3' 42" S	420	0,00 - 0,10	66	13	79	12	10	Areia franca	2,82	-0,15	4,67	1,48
50° 55' 15" O		0,10 - 0,20	68	13	80	11	9	Areia franca	2,85	-0,15	4,46	1,53
		0,20 - 0,30	66	13	78	12	11	Areia franca	2,83	-0,14	4,47	1,55
		0,30 - 0,40	67	10	77	11	13	Areia franca	2,82	-0,21	4,50	1,59
PREP + SOJA												
20° 59' 15" S	400	0,00 - 0,10	71	10	81	10	9	Areia franca	2,74	-0,19	5,78	1,55
50° 54' 31" O		0,10 - 0,20	71	10	80	9	12	Areia franca	2,72	-0,26	5,73	1,67
		0,20 - 0,30	70	10	80	11	10	Areia franca	2,76	-0,30	5,39	1,68
		0,30 - 0,40	65	13	77	9	14	Areia franca	2,75	-0,25	5,08	1,73
		Máximo	71	13	81	12	30		2,85	-0,14	5,78	1,73
		Média	64	11	75	9	16		2,75	-0,32	4,99	1,61
		Mínimo	54	6	65	3	9		2,67	-0,72	4,22	1,48
		CV(%)	9	20	8	29	50		2,34	-61,11	10,83	5,24

2 **Dp** = Densidade de partículas; **Ds** = Densidade do solo; **PCZ est.** = Ponto de Carga Zero estimado. Metodologias:
3 **ΔpH** (pH-KCl – pH-H₂O, de acordo com Mekaru & Uehara (1972)); **PCZ estimado** conforme Uehara (1979),
4 pela fórmula: $PCZ = [(2 * pH-KCl (1 \text{ mol L}^{-1})) - pH-H_2O]$; determinação granulométrica de acordo com o método
5 da pipeta com agitação lenta (Embrapa, 1997). **AG**, areia grossa, de 2,00–0,21 mm; **AF**, areia fina, de 0,21–0,053
6 mm; e **AT**, areia total, de 2,00–0,053 mm (Donagemma et al., 2016).

7

8 O preparo convencional, comum nas três áreas de estudo e executado no período de
9 reforma é caracterizado pelas operações de – nesta ordem: dessecação química da soqueira,
10 gradagem pesada, gradagem intermediária, subsolagem e gradagem niveladora. A aplicação de
11 corretivos (calcário e gesso) foi realizada simultaneamente as operações de revolvimento do
12 solo. Em seguida, as áreas foram conduzidas pelos diferentes sistemas de manejo. As doses de
13 corretivos, adubação, aplicação de subprodutos (vinhaça e torta de filtro) e variedade plantada
14 em cada área estão descritas na Tabela 2.

1 **Tabela 2.** Informações de manejo das áreas estudadas: aplicação de corretivos, adubos e
 2 subprodutos (vinhaça e torta de filtro) no preparo de solo (durante o preparo convencional) e
 3 nos tratos culturais. As doses de insumos referentes aos tratos culturais correspondem a doses
 4 de adubos e subprodutos orgânicos aplicados no 2º e 3º ciclo, enquanto as doses de calcário e
 5 gesso apenas no 3º ciclo.

ÁREA	Variedade	Maturação	Época de Colheita	Calcário	Gesso	Adubo	Vinhaça	Torta de Filtro
				ton ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ton ha ⁻¹
PREPARO DE SOLO								
PREP +CANA	CTC4	Média	Junho	2,50	1,50	600,00 ¹	200,00	40,00
PREP +ADV	RB975201	Média	Junho	1,50	1,00	400,00 ¹	NAP	NAP
PREP +SOJA	RB975033	Média	Junho	3,00	2,00	700,00 ¹	100,00	NAP
TRATOS CULTURAIS								
PREP +CANA	CTC4	Média	Junho	1,50	1,00	500,00 ²	200,00	25,00
PREP +ADV	RB975201	Média	Junho	1,00	0,50	400,00 ²	100,00	NAP
PREP +SOJA	RB975033	Média	Junho	1,50	1,00	600,00 ²	100,00	NAP

6 NAP = não aplicado. Adubo utilizados: ¹Plantio = 24-04-18; ²Cultivo, durante os tratos culturais = 25-05-18.
 7 **Sistema de reforma com soja: aplicação de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-20 antes da semeadura da soja.
 8

9 No sistema de manejo *Preparo Convencional + Cana* (PREP+CANA) a dessecação
 10 química da soqueira ocorreu em entre os meses de outubro/2015 e novembro/2015. Dessa
 11 forma, de dezembro/2015 a março/2016, a cultura permaneceu dessecada na área. Então, no
 12 mês de março/2016, a área foi submetida ao preparo convencional e realizado o plantio da
 13 cultura sob solo exposto (Figura 3), com 1,50 m de espaçamento entre sulcos e com aplicação
 14 de 40 ton ha⁻¹ de torta de filtro.

15 Quanto ao sistema de manejo *Preparo Convencional + Adubo Verde* (*Crotalaria*
 16 *spectabilis*) (PREP+ADV) logo após a colheita da cultura, em setembro/2015, a área foi
 17 submetida ao preparo convencional em outubro/2015. Em seguida, foi realizada a semeadura a
 18 lanço da *crotalaria spectabilis*, sendo as sementes incorporadas com grade niveladora. O adubo
 19 verde foi cultivado de outubro/2015 a março/2019; mês este em que foi realizada a operação de
 20 plantio (com espaçamento entre sulcos de 1,50 m), em modo plantio direto, sobre a massa verde
 21 da cultura de cobertura; conforme definição de Coleti (2010) (Figura 3).

1 Acerca do sistema de manejo *Preparo Convencional + Soja (PREP+SOJA)* a área
2 foi conduzida de forma semelhante a área com adubo verde. Porém, invés do cultivo da cultura
3 de cobertura, foi cultivada a soja (cultivar Potência – Brasmax®) no mesmo período; de
4 outubro/2015 a março/2016. Posteriormente a colheita da soja, a área foi submetida a operação
5 de subsolagem, e em seguida, executada a operação de plantio (com espaçamento entre sulcos
6 de 1,50 m) sobre a resteva da soja, em modo cultivo mínimo; conforme definição de Coleti
7 (2010) (Figura 3).

9 **5.2.3 MANEJO DAS ÁREAS DURANTE OS CICLOS DE CULTIVO**

11 Discorrido três a quatro meses após a colheita, todas as áreas eram submetidas a
12 operação de subsolagem (com subsolador/cultivador DMB® São Francisco, com duas hastes
13 subsoladoras com ponteiros aladas) junto a aplicação ou não de corretivos, dependendo da área.
14 Nesta época realizava-se a aplicação de adubos e vinhaça. Já aplicação de torta de filtro, era
15 executada apenas na área de sistema de manejo, PREP+CANA, com aplicação superficial do
16 subproduto (Tabela 3). A Tabela 3 descreve a composição química dos subprodutos aplicados
17 no solo pela unidade sucroenergética

19 **Tabela 3.** Composição química de subprodutos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) utilizados
20 como fertilizantes pela unidade sucroenergética.

	COT	NT	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄ ²⁻
Subproduto g kg⁻¹								
Vinhaça	22,90**	1,61**	14,22	0,05	1,43	0,50	0,81	0,87
Torta de Filtro	346,52	13,83	25,06	15,73	1,65	32,87	5,39	5,39

21 ** Dados referentes a Prada et al (1998). Metodologia para: COT, Wackley-black; NT, digestão sulfúrica e
22 determinação por Kjehdal; P, S, K, Ca, Mg, digestão nítrica-perclórica e determinação por espectrofotometria (P
23 e S), fotometria (K) e espectro de absorção atômica (Ca e Mg).

25 **5.2.4 AMOSTRAGEM DE SOLO**

27 As amostras de solo foram coletadas em março de 2019 (36 meses após o período
28 de reforma) durante o 3º ciclo da cultura. Foram abertas 8 trincheiras, de 1,0 x 1,0 x 0,5 m
29 (comprimento x largura x profundidade) a cada 30 m de uma trincheira até a outra, nas
30 entrelinhas da cultura, a 0,25 m do sulco de plantio, em áreas delimitadas de 10,0 hectares.

1 Adjacentes ao sulco de plantio, na camada de 0,00 – 0,40 m, com intervalos de 0,10
2 m, foram coletadas amostras para determinação de: carbono orgânico; nitrogênio total; pH
3 CaCl_2 ; saturação por bases; e teores de $\text{H}+\text{Al}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , soma de bases, CTC potencial,
4 fósforo disponível, $\text{S}-\text{SO}_4^{2-}$, Fe, Mn e Zn.

5 Sobre o espaçamento do sulco de plantio ao local da amostragem de solo, de 0,25
6 m, isto foi em razão deste espaçamento minimizar a influência das operações nas propriedades
7 químicas. Posto que as adubações fosfatadas e potássicas tendem a se concentrar no sulco de
8 plantio e aplicação de Ca e Mg (por meio de corretivos) tendem a ser realizadas nas entrelinhas
9 da soqueira, isto poderia acarretar que, amostras retiradas nas linhas de plantio tenderiam a
10 superestimar os valores de P e K, enquanto aquelas retiradas no meio das entrelinhas
11 superestimariam os teores de Ca, Mg, SB, CTC(t), CTC(T) e V (Vitti et al., 2015). Além disso,
12 é importante mencionar a amostragem de solo foi executada decorrido sete meses após a
13 realização dos tratos culturais.

14 Já a coleta de amostras na camada de 0 – 40 cm, foi devido a esta camada concentrar
15 as maiores quantidades de raízes da cana-de-açúcar (Barbosa et al., 2018; Melo et al., 2020). A
16 vista disso, as condições observadas nos atributos do solo, apontariam então, influências
17 positivas ou negativas para a cultura, face as suas interferências para o desenvolvimento
18 radicular.

20 **5.2.5 MENSURAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

22 **5.2.5.1 Teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total**

23
24 Para determinação do carbono orgânico (CO), foi utilizada a metodologia de
25 Walkley–Black, descrita por Fontana e Campos (2017). As amostras foram colocadas em estufa
26 de circulação de ar forçada, por 24 horas, a 40 °C. Depois, peneiradas em malha de 2 mm, para
27 obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, foi pesada 1,00 grama de TFSA e
28 submetida as amostras a oxidação com 10 ml de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ($0,167 \text{ mol}$
29 L^{-1}) e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 1 mol L^{-1}), nesta ordem. Após 30 minutos, foi
30 acrescentado 4 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4 , concentrado) e mais 50 ml de água destilada. Por
31 fim, foi adicionado 0,50 ml de solução de difenilamina (1 %) (solução indicadora), seguido de
32 titulação com FeSO_4 1 mol L^{-1} .

33 Quanto aos teores de nitrogênio total, as amostras foram secas em estufa de
34 circulação de ar forçada, a 40 °C, por 24 horas, em seguida, peneiradas em malha de 2 mm.

1 Conforme recomendações de Cantarella e Trivelin (2000), as amostras foram novamente
2 peneiradas em malha 0,250 mm, pesadas em média com 0,50 gramas e submetidas a digestão
3 com uso de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , $0,05 \text{ mol L}^{-1}$) até $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Após, as amostras foram
4 encaminhadas para o destilador a vapor semi-micro-Kjeldahl, utilizando-se como solução
5 indicadora o H_3BO_3 . Finalmente, a quantidade de nitrogênio total foi determinada via titulação
6 com H_2SO_4 ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$).

7 Já a determinação dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total foi realizada
8 de acordo com a equação de Ellert e Bettany (1995) e descrita por Satollo et al (2017):

$$9 \quad \text{Estoque de CO ou NT} = \text{CO ou NT} * \text{Profundidade} * Ds * 10.000 * 0,001$$

10
11
12 Em que: Estoque de CO ou NT, em Mg ha^{-1} ; teores de CO ou NT, em g dm^{-3} ;
13 Profundidade, em metros; Ds, densidade do solo, em g dm^{-3} ; 10.000, fator de conversão de m^2
14 para hectare; e, 0,001, fator de conversão de kg para Mg.

15 16 **5.2.5.2 Acidez e cátions básicos**

17
18 Os atributos químicos do solo seguiram conforme Pavan et al (1992) e Teixeira et
19 al (2017). A acidez ativa (pH) foi determinada com uso de 10 gramas TFSA, sendo adicionada
20 25 ml de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (proporção solo:solução = 1:2,5). Posteriormente, a solução foi
21 agitada durante 15 minutos a 220 rpm (rotação por minutos), deixada em repouso 30 minutos e
22 em seguida, realizada a leitura de pH em potenciômetro (Quimis®, modelo Q400A).

23 Para a acidez potencial (H+Al), foi usada a mesma solução de leitura da acidez
24 ativa, sendo adicionada nesta solução (de 10 gramas de TFSA + 25 ml de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$)
25 5,0 mL de solução extratora SMP, e em seguida, agitada durante 20 minutos a 220 rpm. Após
26 12 horas de repouso, foi realizada uma nova agitação durante 10 minutos a 220 rpm, e depois,
27 30 minutos de repouso. Feito estes procedimentos, seguiu-se leitura da H+Al em potenciômetro.

28 Quanto a determinação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , pesou-se 5 gramas de TFSA e
29 após, foi adicionada 50 mL de KCl 1 mol L^{-1} . Em seguida, as soluções foram agitadas durante
30 15 minutos a 220 rpm e deixadas 12 horas de repouso. Posteriormente, pipetou-se 0,1 mL da
31 solução sobrenadante de Ca^{2+} e Mg^{2+} , em tubos de ensaio, seguida adição de 4,9 mL da solução
32 de lantânio (La) 0,1 %. Assim, as soluções foram levadas para Espectrofotômetro de Absorção
33 Atômica (GBC®, modelo 932AA) e determinadas as concentrações de Ca e Mg.

1 Os teores trocáveis de K^+ , foram determinados por meio de 5,0 gramas de TFSA,
2 adicionado 50 ml de Melich-1, com posterior agitação durante 15 minutos a 220 rpm e repouso
3 da solução durante 12 horas. Depois, foi pipetado 5 mL da sobrenadante e realizada leitura em
4 fotômetro de chamas (Micronal®, modelo B462).

5.2.5.3 Fósforo disponível e enxofre

5
6
7
8 Os teores de fósforo disponível foram extraídos em solução Mehlich-1 (Teixeira et
9 al., 2017), enquanto os teores de enxofre foram extraídos com uso da solução de fosfato de
10 cálcio ($Ca(H_2PO_4)_2$) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Cantarela & Prochnow, 2000). Ambos os elementos
11 determinados em espectrofotômetro (Micronal® AJX – 1600).

5.2.5.4 Micronutrientes metálicos

12
13
14
15 Foram pesadas 10 gramas de TFSA, adicionado 50 ml de Melich-1, com posterior
16 agitação durante 15 minutos a 220 rpm e repouso da solução durante 12 horas. Posteriormente,
17 pipetou-se 0,1 mL da solução sobrenadante, seguida adição de 4,9 mL da solução de lantânio
18 (La) 0,1 %. Assim, as soluções foram levadas para Espectrofotômetro de Absorção Atômica
19 (GBC®, modelo 932AA) e determinadas as concentrações de Fe, Mn e Zn.

5.2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

20
21
22
23 Inicialmente os dados de cada camada avaliada foram submetidos aos testes de
24 normalidade e homocedasticidade, pelos testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente.
25 Sendo assim, seguiu-se a análise de variância pelo Teste F (p-valor < 0,05) em modo de
26 delineamento inteiramente casualizados (DIC), comparando-se as médias pelo teste Scott Knott
27 (p-valor < 0,05).

28 Também, foi realizado testes de correlação entre os teores de CO e os atributos
29 químicos do solo através do coeficiente de correlação linear de Pearson (p-valor < 0,05). E para
30 mais, os dados das quatro camadas avaliadas, dos três diferentes sistemas de manejo de reforma,
31 foram submetidos a análises multivariadas: análise de cluster e de componentes principais.
32 Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software R (R Core Team 2021).

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Atributos químicos

Posto as análises de variância (Tabela 4), foi verificado que apenas os teores de Ca^{2+} não foram influenciados significativamente pelos diferentes sistemas de manejo. Além dos teores de Ca^{2+} , os atributos, soma de bases (SB) e Mn, nas camadas 30 – 40 cm e 0 – 10 cm, respectivamente, não apresentaram resultados significativos.

Para o acúmulo de carbono e nitrogênio (teores e estoques) pode ser observado que o sistema de manejo PREP+SOJA foi qual proporcionou os menores valores (Figura 4, A e B; Figura 5, A e B). Quanto aos efeitos dos outros sistemas de manejo avaliados, verificou-se que o sistema PREP+CANA acarretou os maiores acúmulos de carbono; tendo o sistema PREP+ADV, posição intermediária (Figura 4, A e B). No entanto para o acúmulo de nitrogênio total, estes sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+ADV, desempenharam um efeito semelhante, com acúmulos estatisticamente iguais (Figura 5, A e B).

Acerca dos efeitos a acidez (pH e H+Al), CTC e V%, notou-se que os sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA favorecem a menor acidez e maior V%; mas sem efeitos significativos a CTC (Figura 6, A, B, C e D). Já o sistema PREP+ADV, é o qual denota nas maiores condições de acidez; pH e H+Al (Figura 6, A e B).

Resultados semelhantes a estes, ocorreram para teores de Mg^{2+} e soma de bases (SB) (Figura 7, B e D). Enquanto os sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA obtiveram os maiores teores, o sistema PREP+ADV, o menor. Por outro lado, os teores de K^+ demonstraram que uso do sistema PREP+CANA contribui para altos teores deste elemento, o que não ocorre para os sistemas PREP+CANA e PREP+ADV (Figura 7, C).

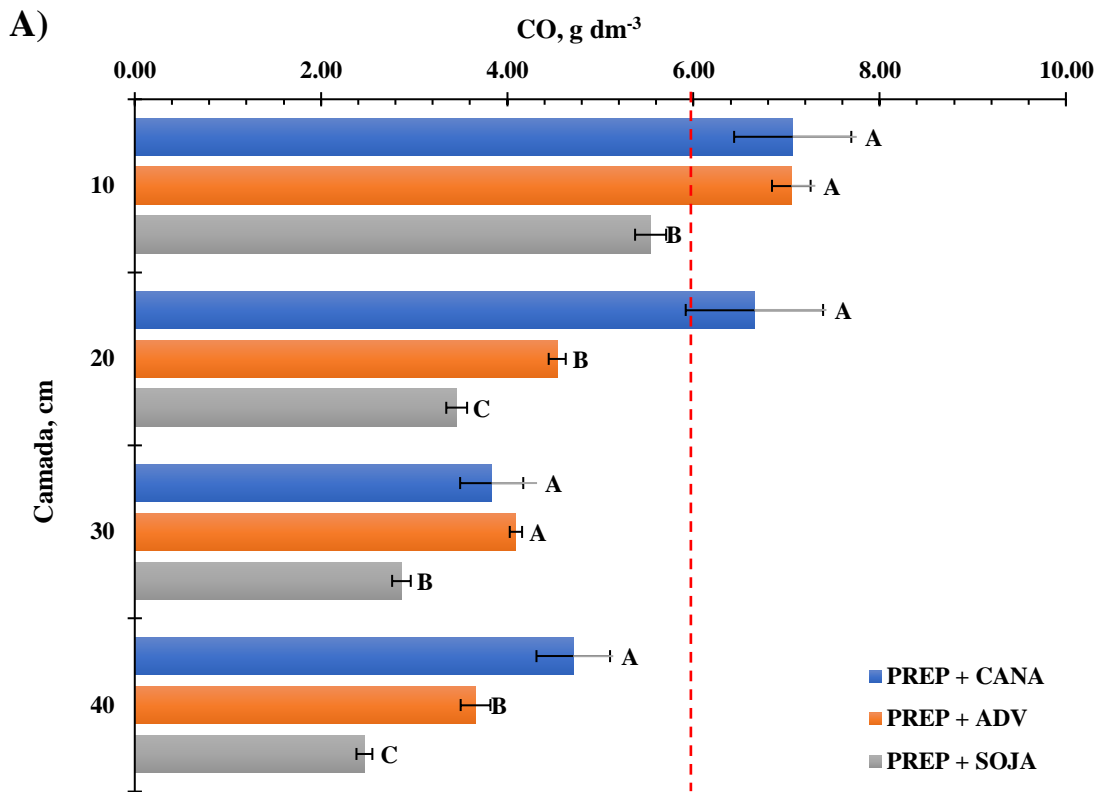
A respeito da disponibilidade de fósforo e teores de enxofre foi verificado que o uso do sistema PREP+SOJA no período de reforma acarreta os menores teores destes elementos, comparado aos sistemas PREP+CANA e PREP+ADV. Estes sistemas por sua vez, contribuíram para a maior disponibilidade de fósforo e enxofre (Figura 8, A e B).

E sobre os teores de micronutrientes, para o Fe, o sistema PREP+CANA denotou nos maiores os teores (Figura 8, A). Contudo, este mesmo sistema de manejo, PREP+CANA para os teores de Mn e Zn, demonstrou baixa disponibilidade: menor que o PREP+ADV e semelhante ao PREP+SOJA (Figura 8, B e C). Já o sistema PREP+ADV, para os teores de Mn e Zn (Figura 8, B e C) proporcionou a maior disponibilidade. O sistema PREP+SOJA, para estes elementos foi estatisticamente igual ao PREP+CANA.

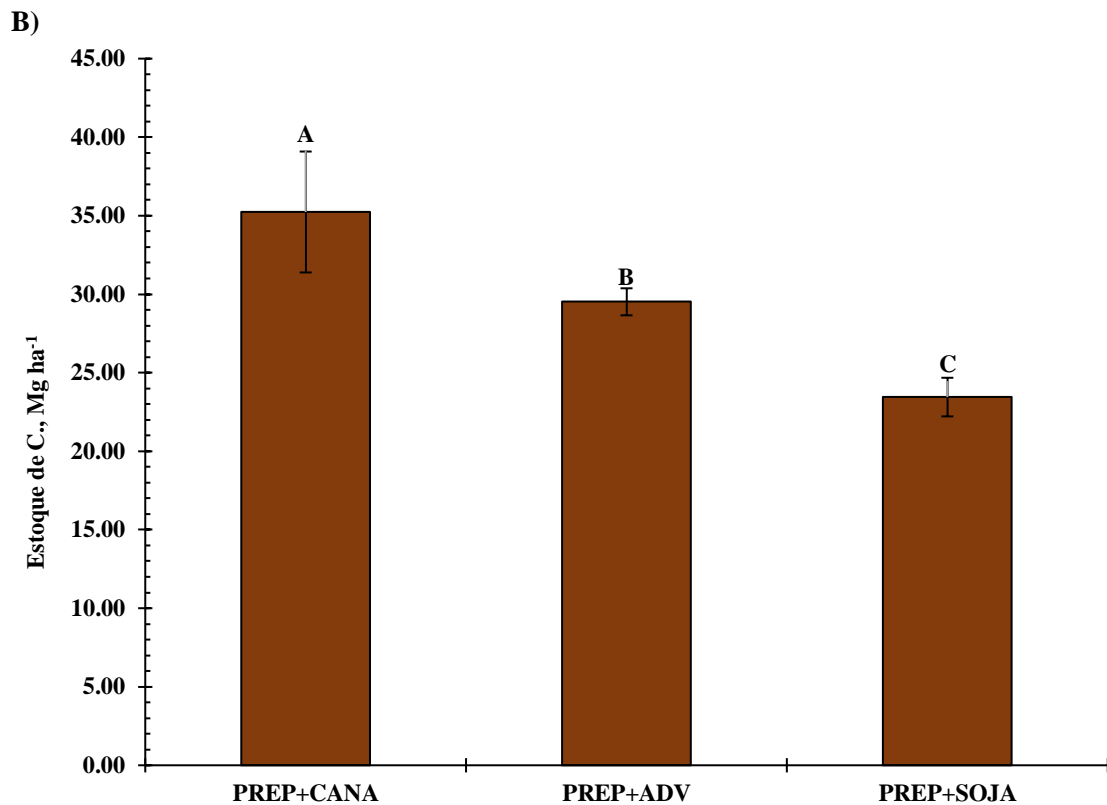
1 **Tabela 4.** Resumo das análises de variâncias para os atributos químicos do solo em função dos
 2 diferentes sistemas de manejo na reforma canavieira.

	CO		ES.C		NT		ES.NT	
camada	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	0,0174	17,20			0,0009	23,23		
10 a 20	0,0014	24,30	0,0002	15,70	< 0,0001	8,13	< 0,0001	10,74
20 a 30	0,0010	16,32			< 0,0001	13,57		
30 a 40	< 0,0001	19,65			0,0009	21,09		
	pH		H+Al		CTC		V%	
camada	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	< 0,0001	8,32	< 0,0001	12,96	0,0109	12,10	< 0,0001	11,34
10 a 20	< 0,0001	8,06	< 0,0001	13,90	0,0003	11,59	< 0,0001	13,60
20 a 30	0,0241	17,44	< 0,0001	11,22	0,0005	15,81	0,0006	24,38
30 a 40	0,0306	12,64	< 0,0001	13,44	0,0003	14,12	0,4155	23,28
	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		SB	
camada	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	0,0928	34,20	< 0,0001	26,55	< 0,0001	24,27	< 0,0001	22,95
10 a 20	0,1598	36,25	< 0,0001	32,53	< 0,0001	29,95	< 0,0001	24,11
20 a 30	0,1763	57,37	< 0,0001	36,94	< 0,0001	25,36	0,0195	44,15
30 a 40	0,0621	36,02	0,0041	31,31	0,0536	44,49	0,8645	44,13
	P-disp		S-SO ₄ ²⁻		Fe		Mn	
camada	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)	<i>p</i> -valor	CV(%)
0 a 10	0,0086	29,17	0,0174	17,22	0,0080	38,76	0,0836	24,11
10 a 20	0,0322	44,12	0,0014	24,30	0,0030	31,27	0,0053	25,34
20 a 30	0,0072	42,63	0,0010	16,32	< 0,0001	25,07	0,0003	25,16
30 a 40	0,0095	62,67	0,0008	19,07	< 0,0001	25,78	0,0003	22,87
	Zn							
camada	<i>p</i> -valor	CV(%)						
0 a 10	0,0385	34,99						
10 a 20	0,0474	48,51						
20 a 30	0,0312	60,38						
30 a 40	0,0268	48,61						

3 **Observação:** CO, carbono orgânico; NT, nitrogênio total; ES.C e ES.N, estoques de C e N,
 4 respectivamente (para camada de 0 – 40 cm); CTC, CTC Potencial; SB, soma de bases; e, P-
 5 disp., fósforo disponível.



1



2

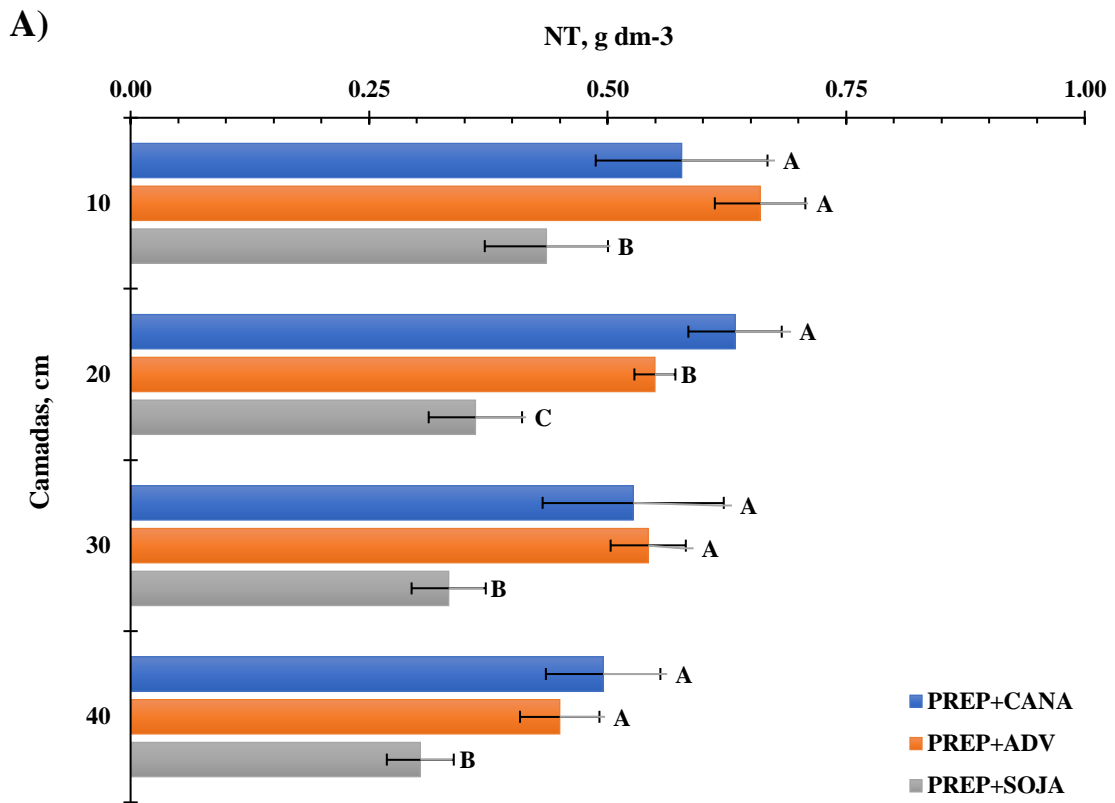
3

4

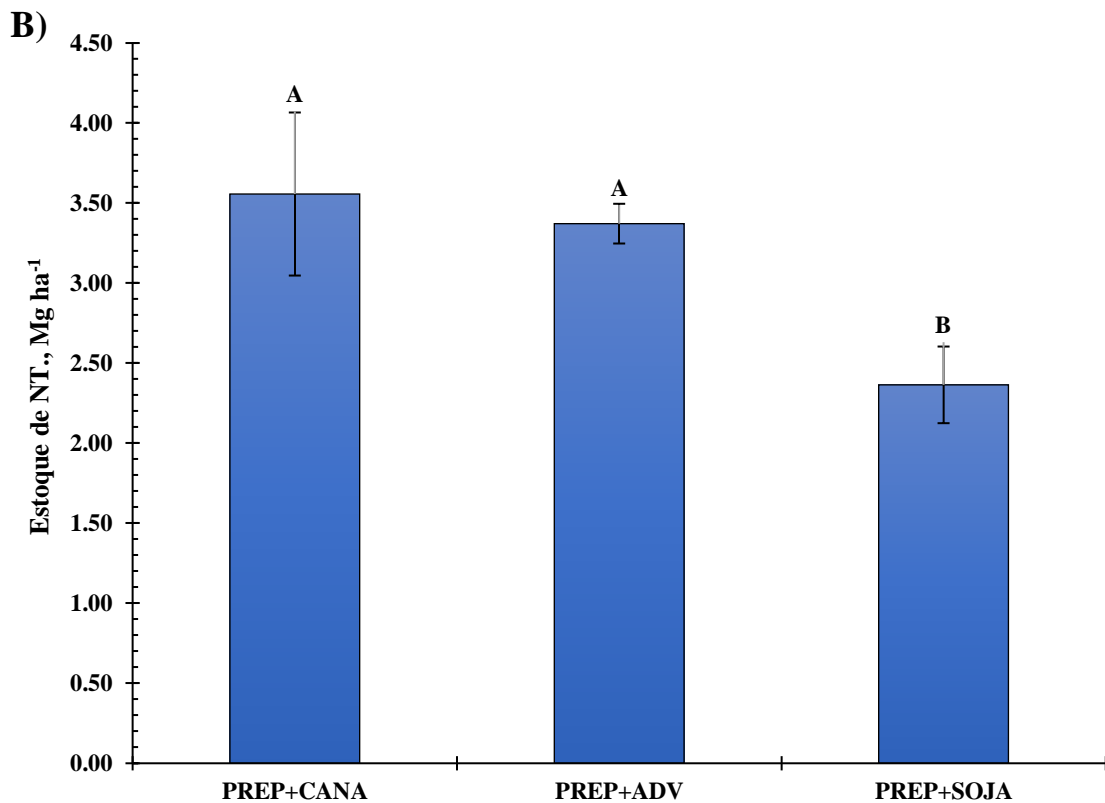
5

6

Figura 4. Teores (A) e estoques de carbono orgânico no solo ((B), camada de 0 – 40 cm) após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p -valor < 0,05); NS: não significativo. As barras referem-se ao desvio padrão (n = 8).



1



2

3 **Figura 5.** Teores (A) e estoques de nitrogênio total no solo ((B), camada de 0 – 40 cm) após 36
 4 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo. Letras iguais não diferem entre
 5 si de acordo com o teste Scott Knott (*p*-valor < 0,05); NS: não significativo. As barras referem-
 6 se ao desvio padrão (n = 8).

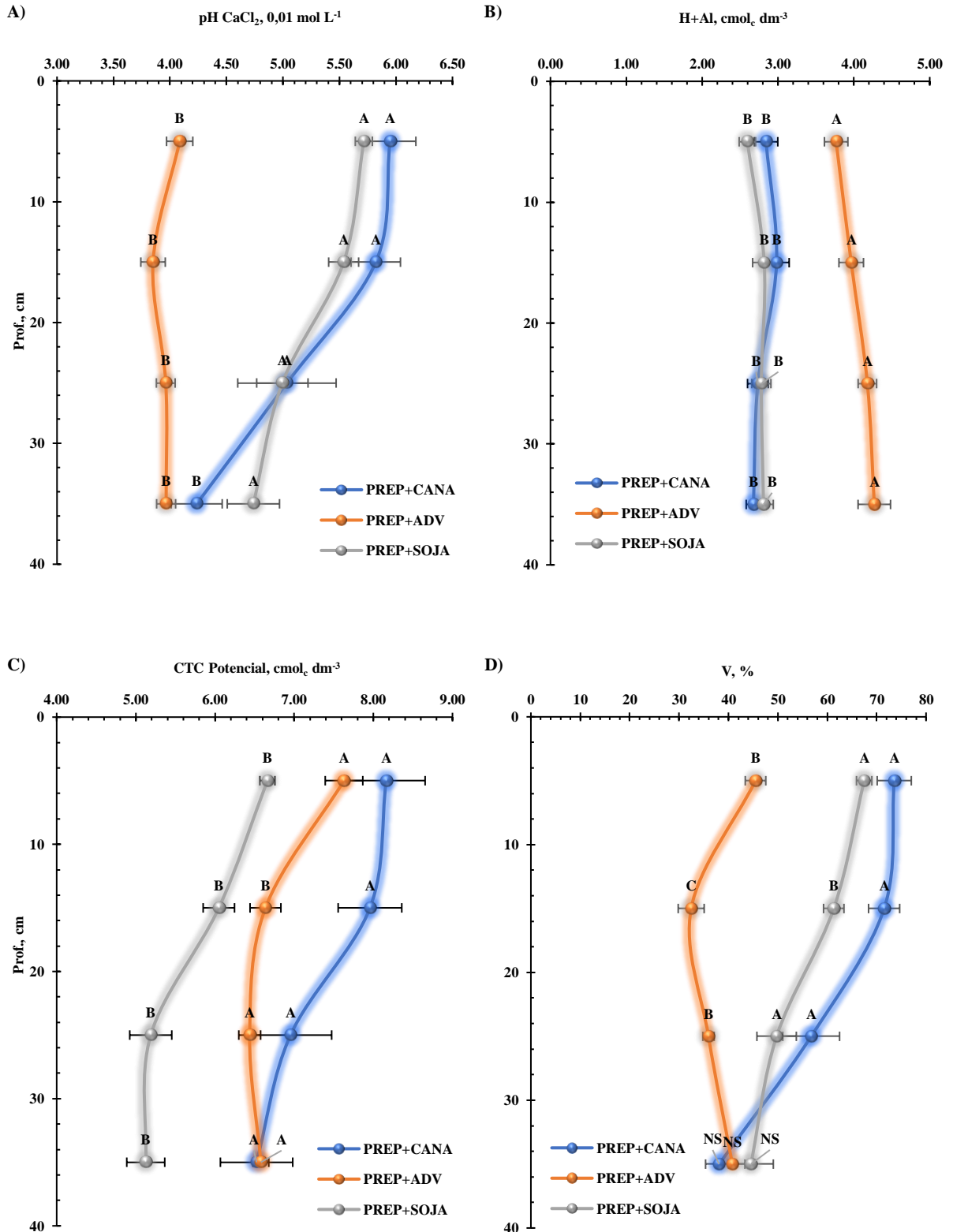
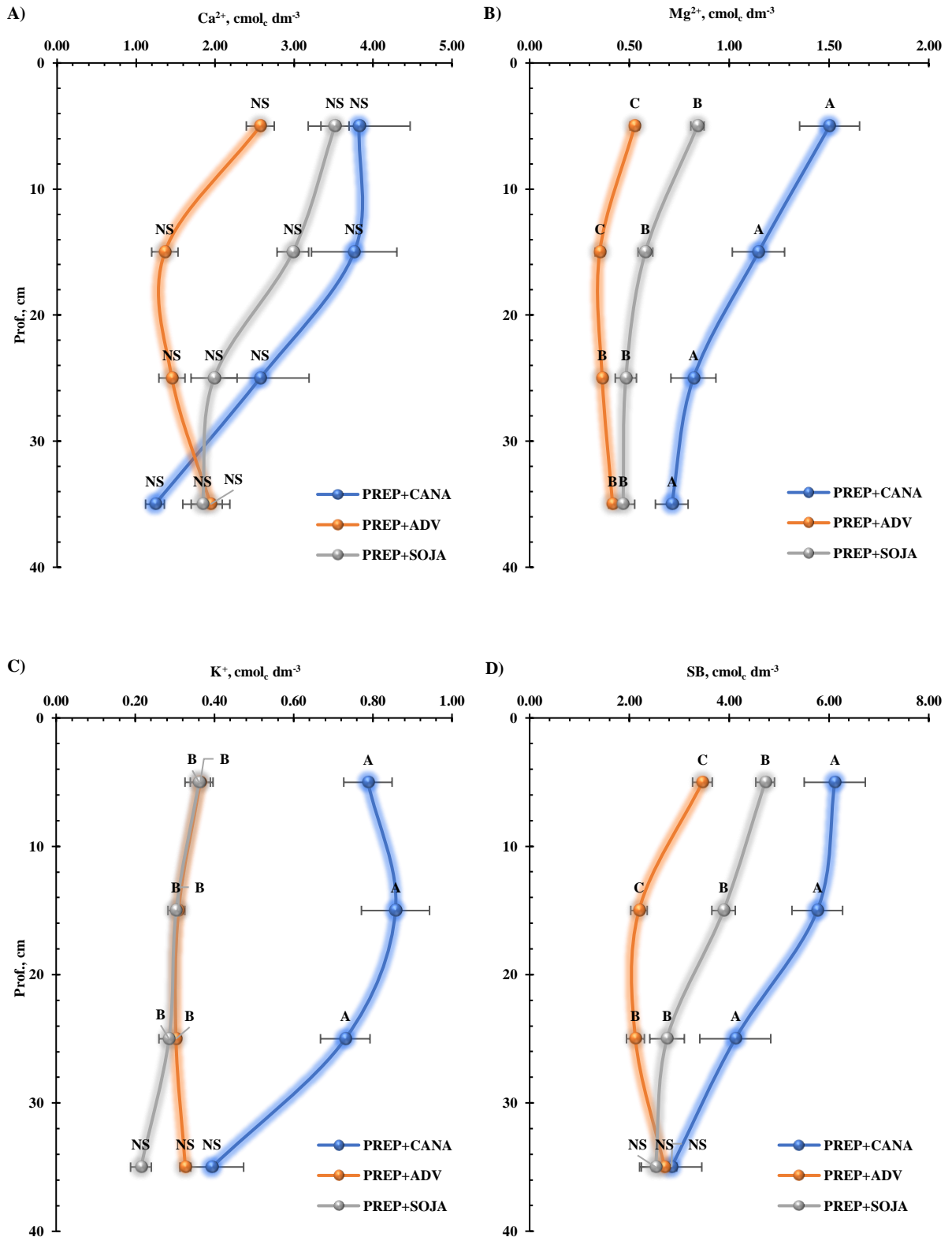


Figura 6. Atributos químicos do solo após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo em solos arenosos: **A)** acidez ativa; **B)** acidez potencial; **C)** CTC Potencial; e, **D)** V%. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (*p*-valor < 0,05); NS: não significativo. As barras referem-se ao erro padrão da média (n = 8).

1
2
3

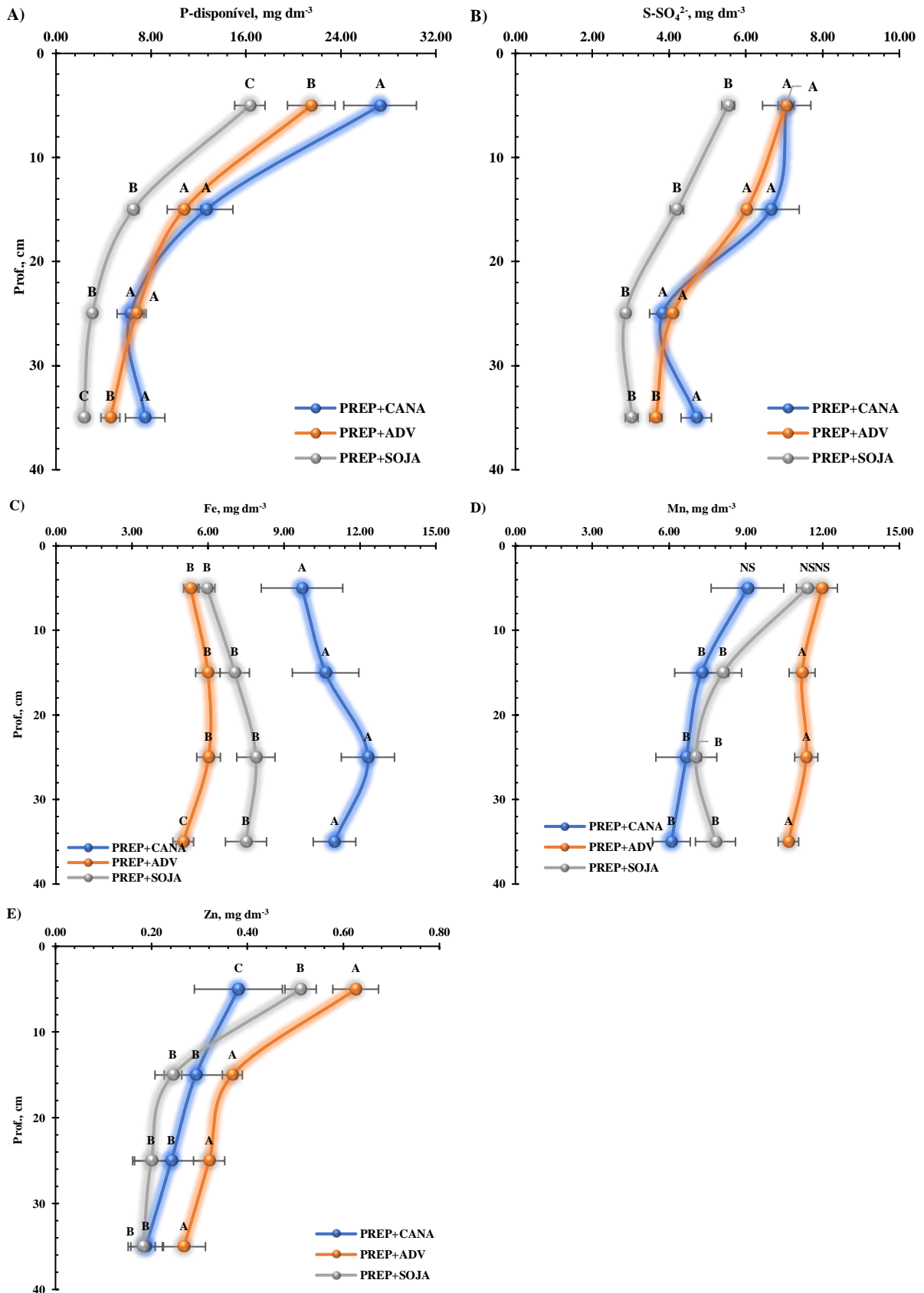
4
5
6
7
8
9
10



1
2
3

4
5
6
7
8
9
10

Figura 7. Atributos químicos do solo após 36 meses do período de reforma sob diferentes sistemas de manejo em solos arenosos: **A)** Ca^{2+} ; **B)** Mg^{2+} ; **C)** K^+ ; e, **D)** Soma de Bases. Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (p -valor < 0,05); NS: não significativo. As barras referem-se ao erro padrão da média ($n = 8$).



4 **Figura 8.** Atributos químicos do solo após 36 meses do período de reforma sob diferentes
5 sistemas de manejo em solos arenosos: **A)** P-disponível; **B)** S-SO₄²⁻; **C)** Fe; **D)** Mn; e, **E)** Zn.
6 Letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Scott Knott (*p*-valor < 0,05); NS: não
7 significativo. As barras referem-se ao erro padrão da média (n = 8).

5.3.2 Correlações entre CO e os atributos químicos do solo

Pode ser observado uma associação positiva entre os teores carbono e os atributos químicos do solo: NT, estoques de NT, CTC, V%, Ca²⁺ e Mg²⁺ (Figura 9, de A a F, respectivamente), K⁺, soma de bases, P-disponível, enxofre, Mn e Zn (Figura 10, de A a F, respectivamente). A exceção, foi para os teores de Fe, em que a correlação foi baixa ($r^2 = 0,20$) e valor de p-valor > 5 % ($p\text{-valor} = 0,0559$).

5.3.3 Análises Multivariadas: cluster e análises componentes principais

Após 36 meses do período de reforma, foi observado que sistemas de manejo avaliados se contrastam em três grupos distintos. No entanto, verificou-se que os sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+SOJA são mais semelhantes (Figura 11).

Percebeu-se que as variáveis referentes a uma melhor condição de fertilidade (> pH e > V%) são mais correlatas ao sistema PREP+CANA e PREP+SOJA, e de forma de correlação negativa, com o PREP+ADV (> H+Al). Já o acúmulo de carbono e nitrogênio, e teores de fósforo e enxofre, denotaram maior relação positiva para os sistemas PREP+CANA e PREP+ADV e negativas para o sistema PREP+SOJA (Figura 12).

5.4 DISCUSSÃO

5.4.1 Fertilidade do solo e os sistemas de manejo

5.4.1.1 Teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total

É consolidado na literatura, a baixa eficiência dos solos arenosos em acumular carbono e nitrogênio (Cerri et al., 2011; Yost & Hartemink, 2019). Portanto, práticas de manejo que visam adição e preservação da fração orgânica nestes solos são essenciais para sustentabilidade agrícola desempenhadas sobre eles.

Nesse sentido, os resultados desta pesquisa indicam que os sistemas de manejo PREP+CANA com uso de subprodutos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e PREP+ADV com a *Crotalaria spectabilis*, asseguram melhores condições de adição de carbono e nitrogênio em solos arenosos. Já o sistema PREP+SOJA no período de reforma, acarreta os menores ganhos a fração orgânica (Figura 4, A e B; Figura 5, A e B).

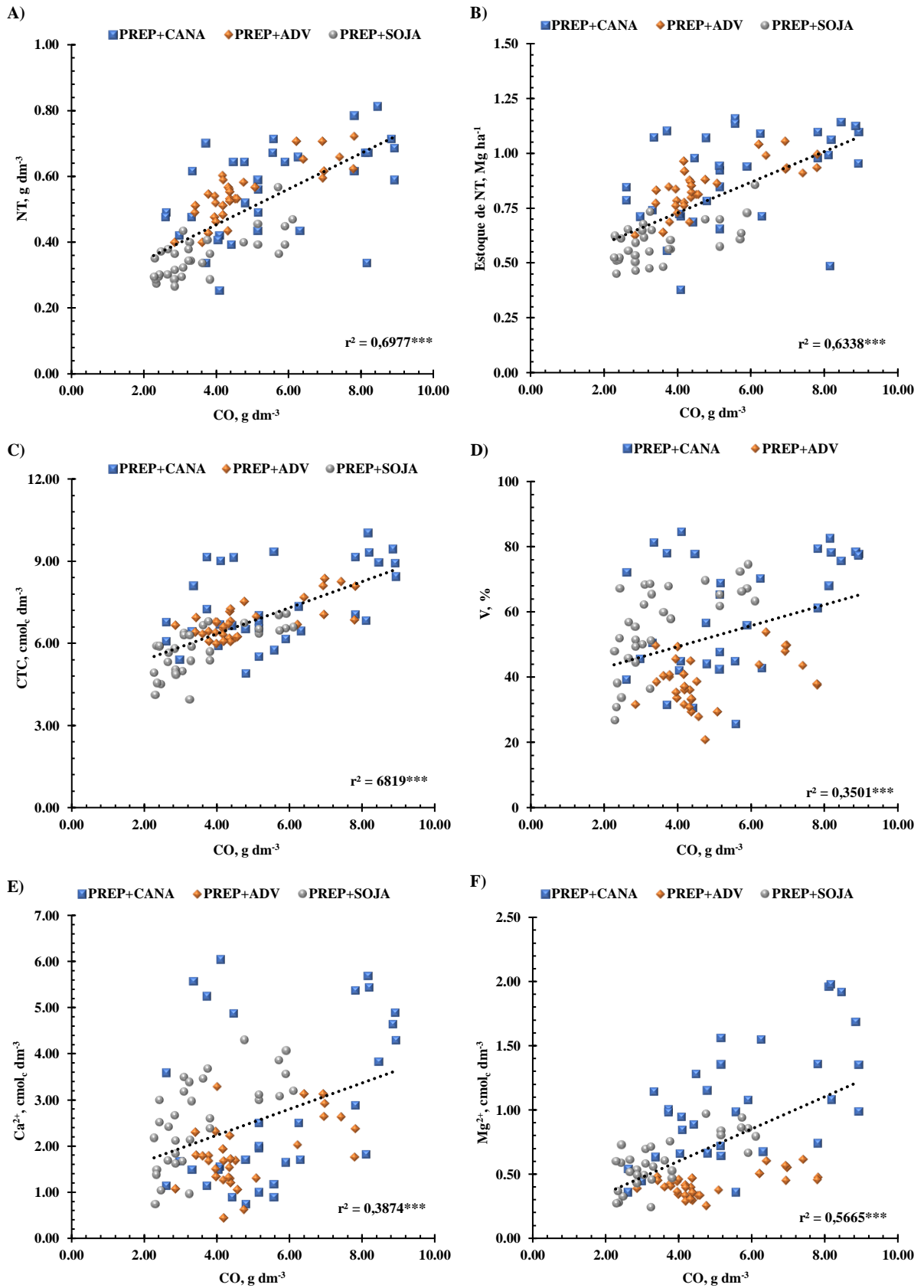


Figura 9. Correlações na camada de 0 – 40 cm, entre os teores de carbono orgânico e nitrogênio total (A), estoque de nitrogênio total (B), CTC (C), V% (D), Ca²⁺ (E) e Mg²⁺ (F). Correlações de Pearson (r²) testadas a 5 e 1 % de probabilidade, em que: (***), refere-se a p-valor < 0,01; e calculadas com n = 96.

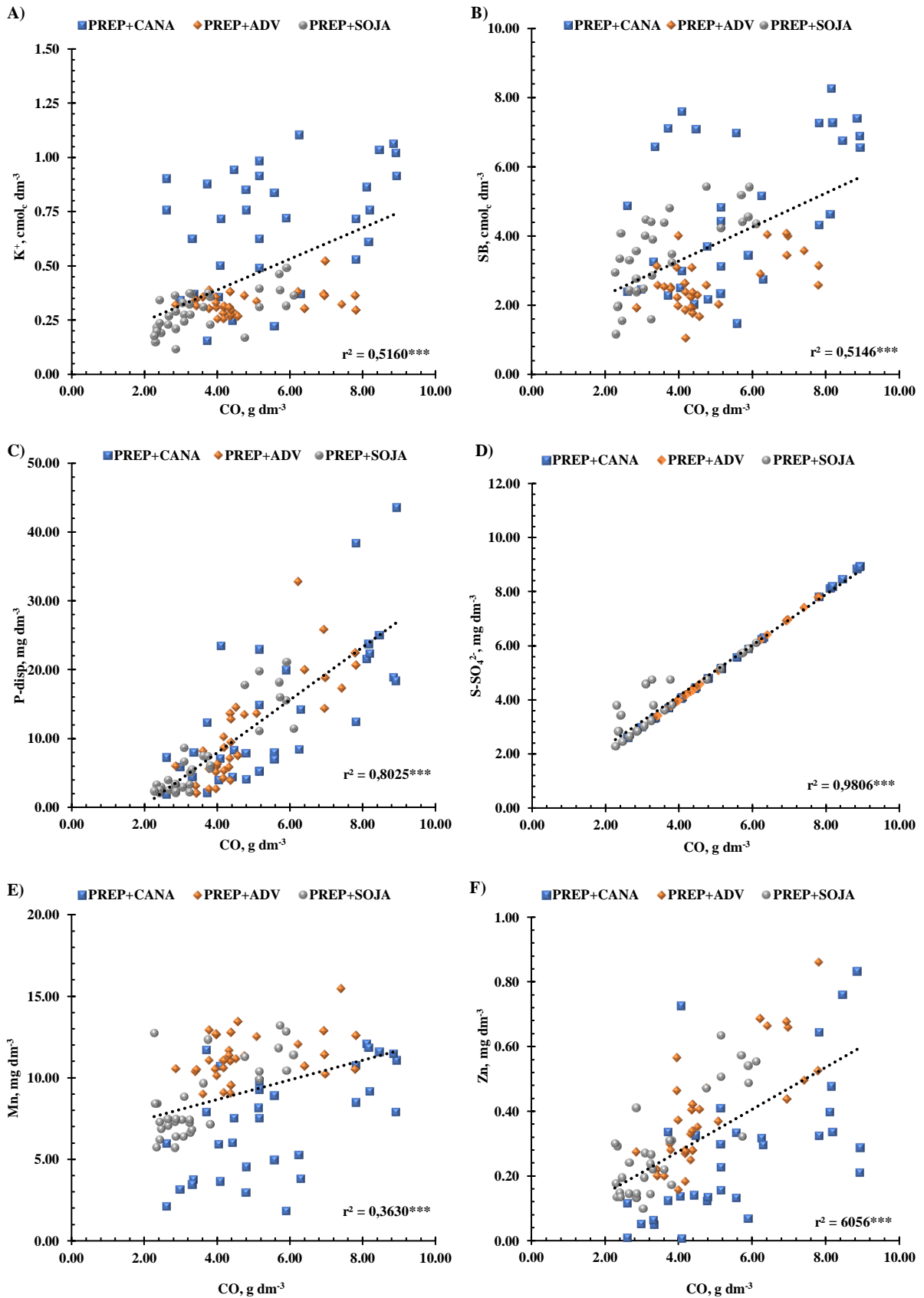
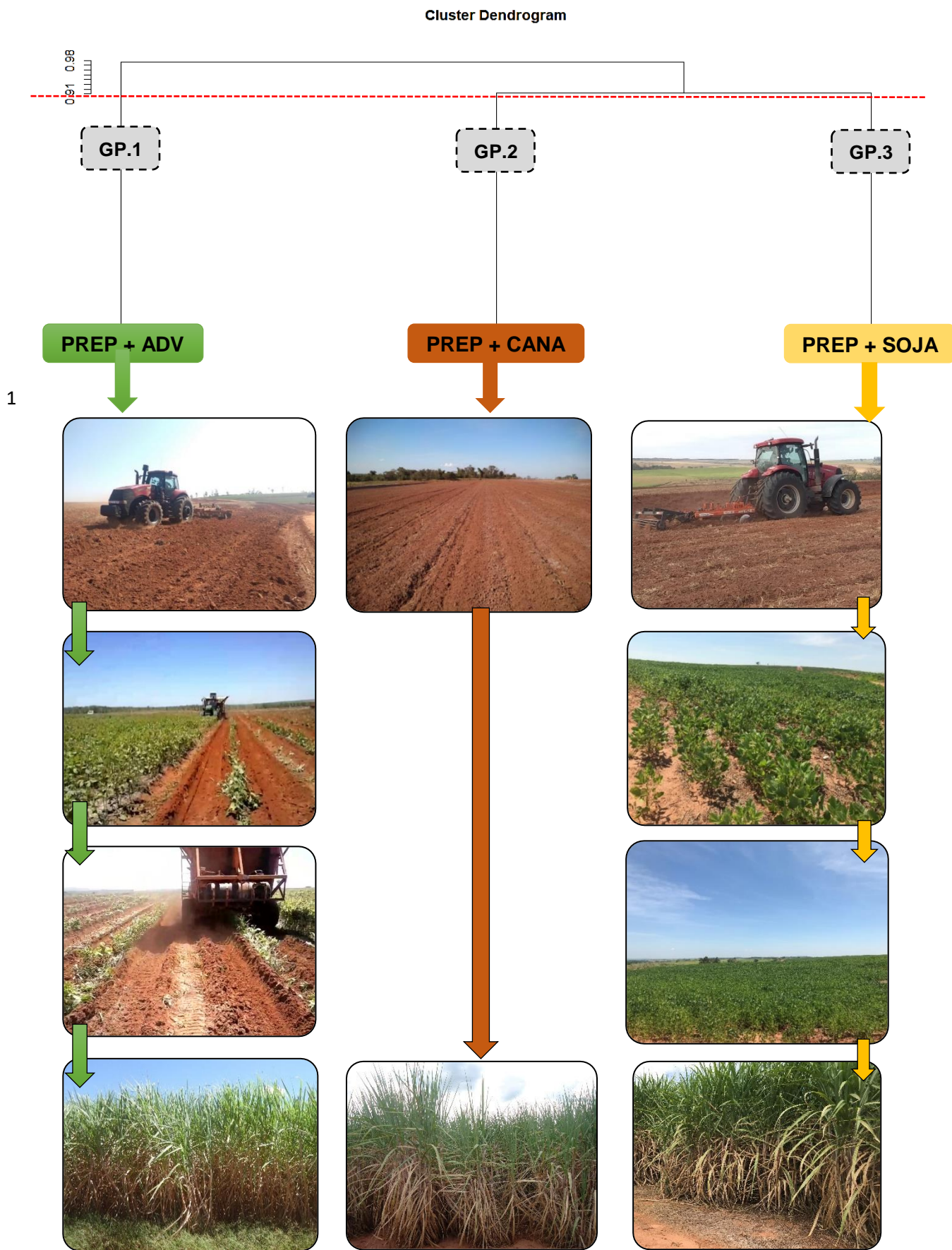


Figura 10. Correlações na camada de 0 – 40 cm, entre os teores de carbono orgânico e K^+ (A), soma de bases (B), P-disponível (C), $S-SO_4^{2-}$ (D), $Mn^{2+/4+}$ (E) e Zn^{2+} (F). Correlações de Pearson (r^2) testadas a 5 e 1 % de probabilidade, em que: (***) refere-se a p-valor $< 0,01$; e calculadas com $n = 96$.



2 **Figura 11.** Análise de Cluster demonstrando a relação entre os sistemas de manejo após 36
 3 meses do período de reforma. Análises realizadas com n = 96.

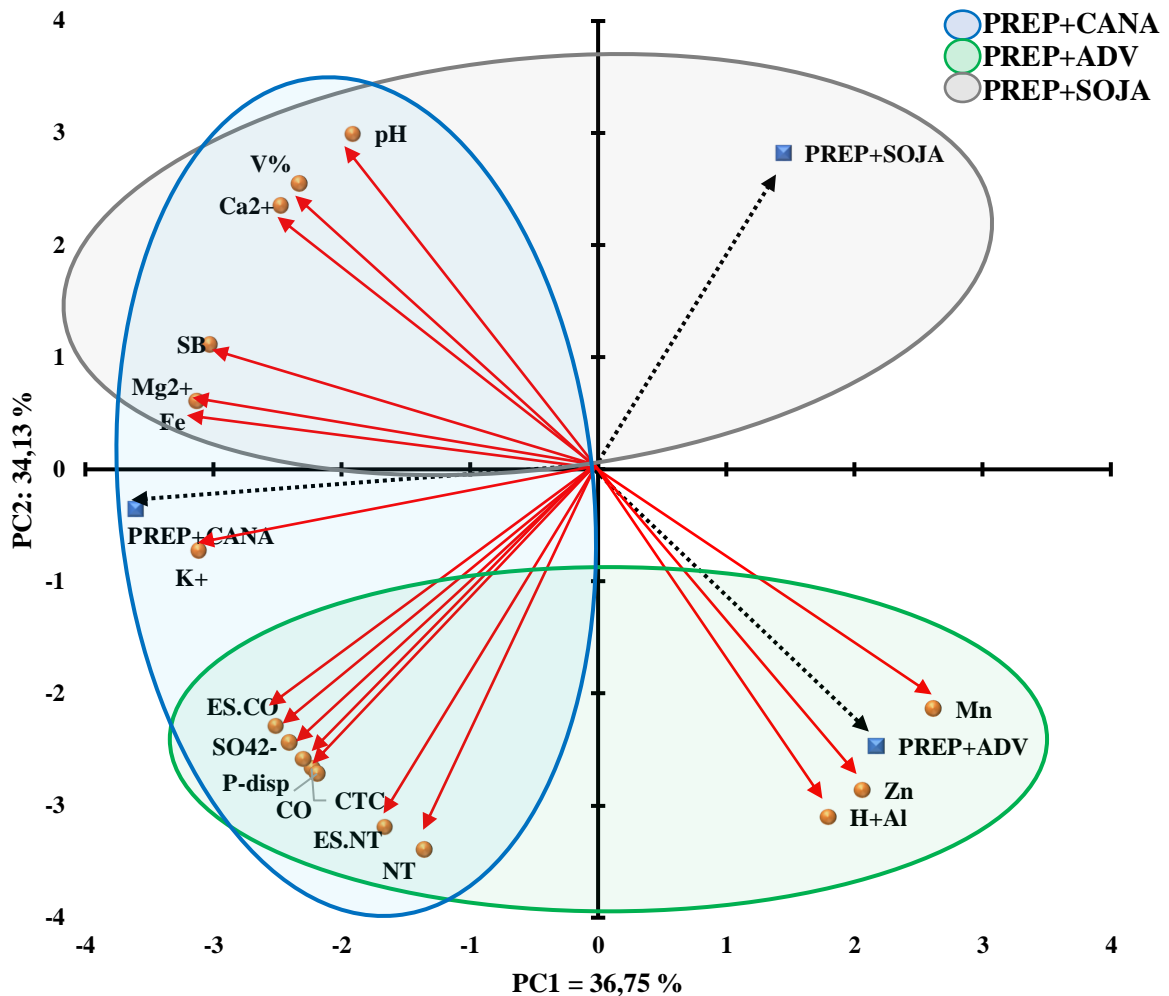


Figura 12. Análise de Componentes Principais entre os atributos químicos de solos e os sistemas de manejo após 36 meses do período de reforma. Análises realizadas com $n = 96$, referente a valores de todas as camadas.

Os elevados teores e estoques de CO e NT no PREP+CANA expõe um aspecto positivo deste sistema, em relação aos demais sistemas estudados. Mesmo que o PREP+CANA, seja caracterizado pelo preparo convencional somada ausência de rotação de culturas, o que pode vir a prejudicar o acúmulo de carbono (Signini et al., 2013) estes resultados indicam que possivelmente tais aspectos negativos podem ser minimizados pelo uso de subprodutos orgânicos; vinhaça e torta de filtro.

Nesse sentido, para o efeito positivo do PREP+CANA a fração orgânica, podem-se elencar alguns fatores. O primeiro, provavelmente, esteja relacionado as aplicações dos subprodutos orgânicos: vinhaça e torta de filtro (Tabela 2). Dado que estes resíduos orgânicos possuem uma baixa relação C:N (< 30) (Tabela 3), isto tenha possibilitado a rápida humificação destes compostos, e com isso, favorecer os teores e estoques de CO e NT. Tal fato corrobora

1 com Zani et al (2018) e Cherubin et al (2016c), que abordam da utilização de subprodutos
2 orgânicos, como vinhaça e a torta filtro, uma prática de manejo eficaz em aumentar os teores
3 de matéria orgânica no solo.

4 O segundo aspecto denota-se da classificação textural desta área: franco
5 argiloarenosa (Tabela 1). Sendo assim, teores de argila em torno de 10 a 15 % maiores que nas
6 áreas PREP+ADV e PREP+SOJA; em que estas foram classificadas como areia-franca.
7 Portanto, possivelmente está maior quantidade argila na área do sistema PREP+CANA tenha
8 influenciado diretamente no acúmulo de carbono.

9 A maior quantidade de argila no solo, tende a intensificar mecanismos de proteção
10 física, química e bioquímica para a matéria orgânica (Jastrow et al., 1996). A maior reatividade
11 da fração argila em contato com a matéria orgânica possibilita estas interações, que por fim,
12 tendem a elevar o acúmulo de carbono no solo (Cerri et al., 2011; Dignac et al., 2017). Bordonal
13 et al (2018) e Tenelli et al (2019) em estudo sobre o acúmulo de carbono em solos argilosos e
14 arenosos sob diferentes manejos na cana-de-açúcar, concluíram que o acúmulo de carbono em
15 solos argilosos pode ser até 20 % maior do que em solos arenosos, em razão dos mecanismos
16 de proteção proporcionados pela fração argila.

17 Apesar dos resultados positivos na fração orgânica pelo sistema de manejo
18 PREP+CANA, faz-se necessário enfatizar que estes acréscimos foram possíveis em virtude da
19 constante adição de resíduos orgânicos e dos maiores teores de argila. Conforme Dieckow et al
20 (2009), ao passo que fontes ricas em material orgânico são adicionadas ao solo, elas promovem
21 efeitos positivos a fração orgânica.

22 Porém, a interrupção da adição destes compostos, pode vir a diminuir rapidamente
23 os teores carbono. Uma vez que a população microbiana é estimulada a consumir o material
24 orgânico a fim de suprir suas necessidades biológicas; o que pode significar também, a
25 deterioração da matéria orgânica pelo efeito “priming” (Kuzyakov, 2010), e, portanto, reduzir
26 os teores de carbono e nitrogênio.

27 A respeito dos efeitos do sistema PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*) verifica-se
28 que a utilização desta leguminosa se destaca em relação ao sistema de manejo PREP+SOJA,
29 para o acúmulo de carbono (Figura 4, A e B). Tal resultado destes incrementos de carbono e
30 podem estar ligados ao fato que a presença de adubos verdes em áreas de reforma incentiva
31 adoção do plantio direto na cultura da cana-de-açúcar (Bolonhezi & Gonçalves, 2015).

32 Dessa maneira, a não incorporação e ausência de práticas que desagregam o solo
33 momento do plantio da cana-de-açúcar, favorecem a manutenção de altas quantidades de
34 biomassa (20 a 30 ton ha⁻¹ de massa verde para *Crotalaria spectabilis* (Wutke et al., 2014)) na

1 superfície do solo. Consequentemente, a manutenção da biomassa vegetal em superfície,
2 garante a minimização de variações de temperatura e umidade; o que melhora as condições para
3 atividade microbiológica no processo de transformação da biomassa vegetal em húmus (Silva
4 et al., 2014).

5 Além disso, adubos verdes tem como característica o elevado desenvolvimento
6 radicular (Cherr et al., 2006), o que propicia a adição de carbono em profundidade, tanto pela
7 decomposição do sistema radicular, quanto pela exsudação de compostos orgânicos (Bolinder
8 et al., 1999). Segundo Puget e Drinkwater (2001), as adições de carbono pelo sistema radicular
9 pode ser 1,2 a 6,1 vezes maior que da parte área.

10 Considerando a baixa reatividade de solos arenosos (Six et al., 2004; Razafimbelo
11 et al., 2008) acredita-se então, que os incrementos de carbono no sistema de manejo
12 PREP+ADV também esteja relacionado a proteção física do carbono proporcionado pela
13 presença de adubo verde somada a prática do plantio direto. A hipótese é incitada em razão de
14 ambos os fatores impedirem a desagregação do solo e por consequência, mitigarem fatores de
15 deterioração da matéria orgânica, a citar, do aumento da aeração nas camadas superficiais do
16 solo.

17 Os resultados referentes aos maiores teores e estoques de NT no sistema de manejo
18 PREP+ADV em relação ao sistema PREP+SOJA, indicam que a utilização de adubos verdes
19 demonstra ser uma prática eficiente para incrementos de NT no solo. Isso é importante para
20 cana-de-açúcar cultivada sob solos arenosos, pois o N é um elemento limitante a produtividade
21 agrícola, dada a sua complexa dinâmica no solo, além das inúmeras reações que está sujeito, e
22 assim, o que reduz a sua taxa de aproveitamento pela cultura (Otto et al., 2019).

23 Inicialmente, a superioridade de NT no sistema PREP+ADV (Figura 5, A e B) pode
24 ser atribuída a condição de maior exploração radicular pela *Crotalaria spectabilis*. Dessa
25 maneira, o maior volume radicular por esta planta de cobertura, denotaria em maior taxa de
26 absorção de N, tanto nas camadas superficiais, como subsuperficiais (Thorup-Kristensen et al.,
27 2012; Rosolem et al., 2017).

28 Ao considerar também a elevada quantidade de biomassa produzida por este adubo
29 verde (de 20 a 30 ton ha⁻¹ pela *Crotalaria spectabilis* (Wutke et al., 2014)) e a fixação biológica
30 de nitrogênio (FBN) realizado por esta leguminosa (Segundo Wutke et al (2014), a *Crotalaria*
31 *spectabilis* pode fixar por ano, de 60 a 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹), tem-se fatores associados que
32 permitem acréscimos de N no solo, via processo de decomposição e mineralização (Rochestes
33 & People, 2005) quando no uso de sistemas de manejo com estes adubos verdes.

1 Nesse contexto, aponta-se duas vertentes relevantes: a primeira quanto ao
2 fornecimento de N via fonte biológica, e a segunda, da redução de adição de N via fertilizantes
3 minerais. Assim, representando maior sustentabilidade do manejo da adubação nitrogenada.
4 Portanto, o que passa a ter relevância em função do impacto ambiental que o manejo agrícola
5 inadequado de N tem causado, como perdas por desnitrificação e, ou, lixiviação de NO_3^-
6 (Satollo et al., 2017).

7 Ademais, fomenta-se que os resultados de NT pelo uso da *Crotalaria spectabilis*
8 no sistema PREP+ADV provavelmente influenciou positivamente o incremento de carbono.
9 Segundo discussões de Boddey et al (2010) e Zotarelli et al (2012) o uso de fabáceas possibilita
10 maiores ganhos de carbono no solo. Posto que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ao
11 garantir um suprimento adicional de N as plantas, estas passam a ter maior eficiência no
12 sequestro de carbono.

13 Devido ao adequado fornecimento de N a planta, isto permite maior atividade da
14 enzima Rubisco, que, portanto, maximiza a produção de esqueletos de carbono pelo vegetal,
15 elevando a produção de biomassa (Meinzer & Zhu, 1998; Bassi et al., 2018). Além do mais, a
16 baixa relação C:N permite um processo mais intenso de decomposição e mineralização
17 (Marcelo et al., 2012). O que intensifica a taxa de transformação da biomassa em húmus.

18 No que se refere aos menores incrementos de CO e NT pelo uso da cultura da soja
19 no período de reforma no sistema PREP+SOJA (Figura 4, A e B; Figura 5, A e B), nota-se a
20 baixa eficiência da utilização desta cultura comercial em promover melhorias a fração orgânica
21 de solos arenosos. A visto disso, tem-se que dada as condições de solos arenosos, a opção pela
22 substituição de adubos verdes por culturas econômicas no período de reforma pode representar
23 apenas ganhos econômicos, mas não de benefícios para o acúmulo de matéria orgânica.

24 Sobre os baixos teores e estoques de CO e NT advindos do PREP+SOJA (Figura 4,
25 A e B; Figura 5, A e B) tem-se que a soja possui baixa produção de fitomassa (5 a 10 ton ha⁻¹)
26 e uma baixa relação C:N (< 30) (Wutke et al., 2014); além das características de um sistema
27 radicular de reduzida exploração das camadas do solo quando comparados a adubos verdes
28 (Zotarelli et al., 2012; Rosolem et al., 2017).

29 Dessa maneira, fatores que convergem para uma rápida taxa de decomposição e
30 mineralização. E, ao somar estes fatores com as condições de solos arenosos, que intensificam
31 os processos de decomposição da matéria orgânica (Murphy, 2015), observa-se até um
32 resultado esperado.

33 Ainda, acerca dos resultados do sistema PREP+SOJA, referente aos teores e
34 estoques de NT, é preciso considerar a exportação de N pelos grãos da cultura. Como concluído

1 por Kurihara et al. (2013), sendo o N o nutriente de maior exportação pela soja, isto infere no
2 menor retorno deste elemento ao solo.

3 Urquiaga et al (2010) discutem que, mesmo sendo considerada uma planta de alta
4 eficiência na FBN, todo o N adquirido por este processo é exportado na maior parte via grãos,
5 não havendo retorno significativo do nutriente ao solo pelos resíduos vegetais da soja. Assim,
6 tal fator, pode vir a diminuir possíveis aumentos de N no solo pela utilização da soja no período
7 de reforma.

8 Outro aspecto a ser discutido e comum em todos os sistemas de manejo, concerne
9 que após o período de reforma todas as áreas de estudo foram conduzidas sob sistema cana-
10 crua. Assim, o que poderia inferir que os teores verificados a fração orgânica (CO e NT) teriam
11 a influência deste sistema de colheita.

12 Os dados desta pesquisa não minimizam o fato do sistema cana-crua em colaborar
13 para acréscimos a fração orgânica (Cerri et al., 2011; Souza et al., 2012). Mas que sim: devido
14 à ausência da queima e a manutenção da palhada na superfície do solo, estes aspectos tenham
15 contribuído para assegurar a manutenção dos teores de CO e NT no solo, advindos dos
16 diferentes sistemas de reforma.

17 Ao relacionar este fator ao período de amostragem (36 meses após a reforma
18 (Figura 3)) tem-se que os resultados de incrementos de carbono e nitrogênio podem ser na maior
19 parte, atribuídos aos processos e mecanismos propiciados no solo em função dos sistemas de
20 manejo avaliados.

21 Isso porque, a vista da condição edafoclimática e do período de colheita igual para
22 todos os sistemas de manejo, por hipótese, não havendo efeitos diferentes a fração orgânica do
23 solo, era de se esperar resultados semelhantes entre eles. Pois, como discutido, solos arenosos
24 são pouco eficientes na manutenção e acúmulo de matéria orgânica (Yost & Hartemink, 2019).

25 No entanto, resultados de Signor et al (2014) em Latossolos de textura média,
26 reforçam a estes dados o viés de maiores efeitos dos sistemas de manejo a fração orgânica. Em
27 estudos sobre as taxas de acúmulos de carbono em áreas com e sem queima, após 1, 3 e 6 anos,
28 Signor et al (2014) não encontraram diferenças nos teores e estoques de carbono no solo nas
29 áreas sem queima. O que é atribuído a palhada da cana-de-açúcar de possuir uma alta relação
30 C:N (>100), e, assim, alta recalcitrância e maior resistência para conversão em húmus (Ramos
31 et al., 2016).

32 Portanto, tais fatores corroboram na discussão dos efeitos preponderantes a fração
33 orgânica do solo em razão do sistema de manejo utilizado. E que, estes efeitos permanecem ao
34 longo dos ciclos da cana-de-açúcar.

5.4.1.2 Acidez e cátions básicos

Os resultados desta pesquisa demonstraram que os sistemas de manejo PREP+CANA (com utilização de vinhaça e torta de filtro) e com uso da cultura da soja, PREP+SOJA, contribuem de maior modo, tanto para redução da acidez (Figura 6, A e B), como para maior retenção de cátions básicos no complexo de troca (Figura 6, D; Figura 7, B, C e D). De outra maneira, os sistemas de manejo com adubo verde (*Crotalaria spectabilis*), PREP+ADV, favorece o retorno da acidez no solo (Figura 6, A e B).

Nesse contexto, estes resultados exibem a não corroboração da hipótese testada. Aponta-se então que para fertilidade, a exploração de culturas comerciais da soja (PREP+SOJA), ou do sistema de manejo PREP+CANA, com uso de subprodutos orgânicos, são os sistemas de manejo que proporcionam as melhores condições químicas para cana-de-açúcar em solos arenosos.

Sobre a superioridade dos sistemas, PREP+CANA e PREP+SOJA, inicialmente é necessário considerar as maiores doses de corretivos e adubos utilizados nestes sistemas de manejo (Tabela 2). Fatores diretos na melhoria da fertilidade do solo nestas áreas.

Pelo lado das maiores doses de corretivos tem-se que isto constituiria em uma ação mais intensa para neutralização da acidez e do fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} , além de um maior efeito residual (Caires et al., 2015). Dessa maneira, o que atenuaria o retorno da acidez por um período mais longo.

As conclusões de Caires et al (2015) e Rheinheimer et al (2018a), demonstraram que, quando utilizada doses de corretivos \geq a 2,0 ton ha^{-1} , isto propicia o aumento do efeito residual do calcário no solo. Isso porque, enquanto uma parte do corretivo reage imediatamente para neutralização da acidez, a outra parte, tende a reagir ao longo do tempo, conforme a ocorrência de processos acidificantes no solo; a citar, a decomposição da matéria orgânica e a oxidação do NH_4^+ a NO_3^- (Fageria et al., 2014).

Outro aspecto, é a possibilidade da percolação de íons $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e, ou, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ no perfil do solo. Em razão dos atributos físicos de solos arenosos, como maior macroporosidade, favorecerem a percolação do calcário em profundidade (Gatiboni et al., 2004; Rheinheimer et al., 2018b), provavelmente tal aspecto colaboraria para as melhores condições químicas ao longo do perfil nos sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+SOJA.

Especificamente sobre o sistema de manejo, PREP+CANA, os resultados aqui presentes sugerem que a utilização de subprodutos orgânicos, como a vinhaça e a torta de filtro, tenha colaborado para os melhores parâmetros de fertilidade neste sistema. Considerações

1 consoantes as discussões de Christofolletti et al (2013) e Prado et al (2013) sobre o uso da
2 vinhaça e da torta de filtro, em que autores mencionam o potencial de melhorias a fertilidade
3 do solo pelo uso destes resíduos orgânicos.

4 A adição simultânea de compostos orgânicos e de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+})
5 por estes subprodutos implicaria na redução da acidez (Figura 6, A e B) e no aumento da V%
6 (Figura 6, D). Da mesma forma que a presente pesquisa, Rosseto et al (2010) e Silva et al (2014)
7 apontaram aumentos da fertilidade do solo sob aplicação de vinhaça e torta de filtro em áreas
8 canavieiras.

9 Acerca dos resultados de fertilidade dos sistemas de manejo PREP+SOJA, isto
10 exhibe os benefícios as propriedades químicas de solos arenosos, pela exploração da oleaginosa
11 no período de reforma. Como discutido anteriormente, estes resultados podem estar atrelados
12 aplicação de maiores doses de corretivos e adubos neste sistema de manejo.

13 Para mais, é importante observar que os estes resultados sugerem que o uso da soja
14 no período de reforma concorre como uma alternativa a fim de obter melhores condições
15 químicas para o cultivo da cana-de-açúcar. Posto que o sistema de manejo da soja impõe valores
16 de V% > 60 %, além de aplicações de adubações fosfatadas, potássicas e de micronutrientes
17 (Nepar, 2019; Oliveira et al., 2020), isto tende a constituir em um elevado aporte residual de
18 nutrientes para cana-de-açúcar após o cultivo da oleaginosa.

19 Haja visto que, mesmo o PREP+SOJA tendo a < CTC(T) (Figura 6, C), seus valores
20 de V% foram > 60 %. Dessa maneira, o que expõe que o sistema de manejo da oleaginosa
21 beneficia também solos de baixa CTC.

22 A respeito da inferioridade da fertilidade no sistema de manejo PREP+ADV, isto é
23 atribuído as condições de maior acidez (Figura 6, A e B). Provavelmente estes resultados têm
24 relação com as menores doses de corretivos e adubos aplicadas nestes sistemas (Tabela 2), bem
25 como, da deposição da massa vegetal dos adubos verdes na superfície do solo.

26 Quanto as menores doses de corretivos e adubos, tem-se que possivelmente isto
27 tenha relação desde fatores econômicos a fatores de manejo. Segundo Peche Filho et al (2014),
28 devido ao uso de adubos verdes inferir em custos adicionais, em razão da aquisição de sementes
29 e das operações de semeadura, tais fatores tendem a acarretar o comprometimento de outros
30 insumos, como de corretivo e adubos.

31 Além do mais, estes autores ainda ressaltam o consenso errôneo dê-se considerar
32 adubos verdes plantas tolerantes a acidez ou não responsivas a adubação. Portanto, o que
33 minimiza ainda mais adição de corretivos e adubos em áreas destinadas para adubação verde.

1 Por parte da deposição da massa vegetal dos adubos verde na superfície do solo,
2 tem-se que isso contribuiria para formação de processos de acidificação do solo. Nesse
3 contexto, processos relacionados a produção de cátions ácidos (H^+) a partir da decomposição
4 da matéria orgânica, respiração de microbiota e da oxidação de NH_4^+ (Fageria et al., 2014). Ou
5 também, de processos relacionados a percolação de NO_3^- no perfil, que consigo, carrega um
6 cátion básico, na forma de co-íon (Meurer, 2012). Dessa forma, processos que elevam a
7 presença cátions ácidos e diminuem a de cátions básicos no complexo de troca;
8 consequentemente, reduzindo a fertilidade do solo.

9 Ademais, além dos processos tratados anteriormente, talvez, haja também, o fato
10 da lixiviação de cátions básicos, mediante a complexação destes por ânions orgânicos advindos
11 da decomposição da biomassa dos adubos verdes. Estes ânions orgânicos tendem a complexar
12 preferencialmente cátions polivalentes (e.g., Ca^{2+} e Mg^{2+}), anulando suas cargas, e desta forma,
13 possibilitando sua descida no perfil do solo (Franchini et al., 2003; Pavinato & Rosolem, 2008).

14 Assim, a lixiviação destes cátions por meio dos ânions orgânicos, provavelmente
15 implicaria nas seguintes condições: menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e maiores teores de K^+ e H^+
16 no complexo de troca. Posto isto, nota-se que talvez estas condições expliquem em partes os
17 resultados do PREP+ADV de maior acidez (ativa e potencial; Figura 6, A e B) e os menores
18 teores de soma de bases (Figura 7, D).

19 E mesmo que utilização do sistema de manejo com adubo verde (*Crotalaria*
20 *spectabilis*) no período de reforma tenham contribuído para ciclagem de nutrientes (Pissinati et
21 al., 2018), tais nutrientes poderiam ter sido lixiviados pelos processos já comentados, ou até
22 mesmo exauridos do solo pela exportação da colheita da cana-de-açúcar. Sendo assim, o que
23 pouco contribuiria para manutenção da fertilidade no sistema de manejo PREP+ADV.

24 Ainda sobre a fertilidade, é válida a discussão a respeito da influência dos sistemas
25 de manejo a CTC(T). Observa-se que os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+ADV
26 foram superiores ao sistema PREP+SOJA (Figura 6, C).

27 Incrementos a CTC são de suma relevância em solos arenosos, haja vista a baixa
28 reatividade destes solos em razão da sua mineralogia quartzosa e caulinitica (Murphy, 2015);
29 como caracterizado neste estudo (Item 2.1; Figura 10). Mesmo que ambos os minerais
30 apresentem baixos pontos de carga zero (PCZ) (PCZ: Quartzo, 2,5 – 3,7; Caulinita: 4,6) em
31 comparação com argilominerais oxi-hidróxidos (e.g., Goethita; Hematita e Gibbistita), a baixa
32 concentração de grupos funcionais presentes em suas superfícies (e.g., grupos hidroxil (OH^-))
33 limita geração de cargas nestes minerais (Alleoni et al., 2015). Portanto, o que acarreta baixos
34 valores de retenção de cátions.

1 Assim sendo, a influência dos sistemas de manejo neste atributo esteja relacionada,
2 talvez, a fatores de efeito comum a CTC: geração de cargas negativas. Pode ser apontado que
3 os incrementos a matéria orgânica pela utilização de subprodutos orgânicos e adubação verde,
4 e a aplicação de calcário em todas as áreas (Tabela 2), tenha proporcionado efeitos semelhantes
5 nos sistemas de manejo avaliados; onde nota-se efeitos semelhantes entre PREP+CANA e
6 PREP+ADV. Feller e Beare (1997) e Paradelo et al (2015) mencionam, tanto a matéria orgânica
7 como aplicação de calcário, são benéficas para aumento da CTC; o que o reforça o viés de
8 resultados semelhantes entre os sistemas de manejo.

9 Todavia, a de ser abordado os menores valores de CTC(T) no PREP+SOJA.
10 Possivelmente um resultado explicado pelo viés da mineralogia presente especificamente nesta
11 área; provavelmente um solo com maiores teores de quartzo. Posto que o PREP+SOJA foi o
12 qual recebeu a maior dose de calcário (Tabela 2), era esperado um aumento similar na
13 capacidade de troca de cátions, o que não ocorreu.

14 15 **5.4.1.3 Disponibilidade de fósforo e enxofre**

16 17 *a) Disponibilidade de Fósforo*

18
19 A respeito da maior disponibilidade de P para os sistemas de manejo PREP+CANA
20 e PREP+ADV (Figura 8, A) estes resultados podem ser atribuídos a fatores intrínsecos aos
21 respectivos sistemas de manejo. No PREP+CANA, as adições anuais de resíduos orgânicos
22 (vinhaça e torta de filtro; Tabelas 2 e 3) provavelmente contribuíram para os incrementos de P
23 no solo. Zani et al (2018) e Soltangheisi et al (2019) discutem que aplicação destes subprodutos,
24 advindos do processo industrial da produção de etanol e açúcar, não competem apenas para
25 aumentos dos teores de fósforo, mas também, na redução da dependência de fertilizantes
26 minerais fosfatados ao longo das safras.

27 Portanto, estes resultados sugerem que sistema de manejo PREP+CANA
28 condicionado ao uso de subprodutos orgânicos vem a garantir teores adequados de P no solo.
29 Além disso, Prado et al (2013) enfatizam que o retorno de nutrientes, como o fósforo via
30 resíduos orgânicos, reforça o viés de ciclagem de nutrientes por parte do processo agroindustrial
31 da produção da cana-de-açúcar.

32 Com relação aos altos teores de P no sistema PREP+ADV (Figura 8, A)
33 possivelmente isto esteja ligado ao processo de ciclagem de nutrientes pelo adubo verde.

1 Dalmon et al (2014), em revisão de literatura discorrem que o uso de plantas de cobertura é um
2 dos principais mecanismos para melhoria dos teores de P no solo.

3 Segundo os autores, o processo de decomposição e mineralização da parte aérea e
4 do sistema radicular dos adubos verdes permitem acréscimos nos teores de fósforo tanto em
5 superfície, como em subsuperfície. Outro aspecto, são os efeitos que moléculas orgânicas
6 possuem na dinâmica do fósforo aumentando a sua disponibilidade para as culturas (Guppy et
7 al., 2005; Fink et al., 2016).

8 Além dessa questão referente a ciclagem, há o aspecto que talvez o plantio direto
9 exercido sobre a massa verde da planta de cobertura tenha contribuído para estes os maiores
10 teores de P. Tendo em vista o não revolvimento, isto possibilitaria primeiramente, a amortização
11 de perdas de fosforo solúvel por lixiviação ou escoamento superficial e, em segundo, atenuação
12 de processos de fixação de fósforo pelas moléculas orgânicas (Oliveira et al., 2020). Logo,
13 fatores presentes em função do plantio direto, que colaborariam para melhoria dos teores de
14 fósforo.

15 Fomenta-se também a possibilidade de transformação do fósforo inorgânico (dos
16 fertilizantes minerais) para fósforo orgânico na condição dos altos teores de CO nos
17 PREP+CANA e PREP+ADV (Figura 14, A e B) (Beck & Sanches, 1994; Buehler et al., 2002).
18 Tal hipótese é reforçada, uma vez que Garcia-Montiel et al. (2000) demonstraram aumento dos
19 teores fósforo no solo, pela conversão de fósforo inorgânico em fósforo orgânico, por exemplo,
20 através da ciclagem deste nutriente pelas plantas, se constituiria em um reserva lábil do
21 elemento. Dessa forma, o fósforo orgânico, presente na matéria orgânica, por meio da ação da
22 microbiota e enzimas fosfatases ao longo do tempo, tenderia a elevar a disponibilidade de
23 fósforo (Balota et al., 2013; Franco et al., 2015).

24 E quanto a menor disponibilidade de fósforo no sistema de manejo PREP+SOJA
25 (Figura 8, A) talvez isto relaciona-se ao manejo da cultura. Nesse sentido, ao considerar a
26 exportação de P pela colheita da oleaginosa e ao fato do baixo incremento a fração orgânica do
27 solo, que por sua vez atenuaria perdas por fixação ou lixiviação (Guppy et al., 2005),
28 contribuiriam para um efeito residual menor da adubação fosfatada realizada na cultura da soja,
29 para cana-de-açúcar.

30 Além disso, é necessário considerar que adubação fosfatada para cultura da soja foi
31 realizada em seguida do preparo convencional. Dessa maneira, a oxidação da matéria orgânica
32 pós preparo convencional, desempenha um papel adicional para um menor efeito residual da
33 adubação fosfatada (Oliveira et al., 2020b), que logo, tende a resultar em menor disponibilidade
34 do elemento.

b) Disponibilidade de enxofre

A maior disponibilidade de enxofre (SO_4^{2-}) ocorreu para os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+ADV, em comparação com o sistema PREP+SOJA SRF (Figura 8, B). Esse resultado é importante se considerarmos que o enxofre é um elemento limitante em solos arenosos e de alta suscetibilidade por perdas via lixiviação ou escoamento superficial o que pode aumentar o risco de deficiência deste elemento para cultura da cana-de-açúcar (Vitti et al., 2015).

Assim, estes resultados indicam que a substituição do sistema PREP+SOJA pelo uso dos sistemas PREP+CANA ou PREP+ADV, promove benefícios para os incrementos e manutenção de teores adequados de SO_4^{2-} em solos arenosos. A possível explicação para tais resultado, relaciona-se, da mesma maneira, como discutido para teores de fósforo, adição de resíduos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) no sistema PREP+CANA e a ciclagem deste elemento pelo adubo verde no sistema PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*) (Figura 8, A).

Um aspecto considerável concerne aos altos teores de SO_4^{2-} no PREP+ADV. É observado que este sistema, PREP+ADV, foi o qual recebeu a menor dose de gesso nas (Tabela 2). Portanto, o que denota que mesmo sob baixas adições de enxofre via gessagem, a utilização de adubos verdes garante provavelmente, uma ciclagem eficiente deste elemento, promovendo um aumento dos teores de SO_4^{2-} na camada de maior exploração radicular pela cana-de-açúcar; de 0 – 40 cm (Scarpate et al., 2019). Pereira et al (2017) destacaram o uso da crotalária para ciclagem de enxofre, enfatizando que estes resultados se relacionam diretamente a elevado volume de solo explorado por suas raízes.

Os incrementos a fração orgânica proporcionada sistema PREP+ADV pode ter contribuído para retenção de enxofre na matéria orgânica. Por meio da atividade microbiana na mineralização da fração orgânica, isto faria elevar a disponibilidade de enxofre nestes sistemas de reforma. Resultados de Pinto e Nahas (2002) e Balota et al. (2014) apontaram maior disponibilidade de enxofre em áreas com altos teores de matéria orgânica. Os autores justificaram que a presença de altos teores de matéria orgânica estimula a atividade microbiana, da mesma forma, que a atividade de enzimas arilsulfatase e rodanase; enzimas que atuam nas reações de transformação no enxofre orgânico em sulfato (SO_4^{2-}) disponível.

Já os baixos teores de SO_4^{2-} no sistema de manejo PREP+SOJA, provavelmente esteja ligado a exportação do elemento pelos grãos e a baixa produção de biomassa da cultura comercial, que assim, limita a taxa de retorno do elemento ao solo; como discutido para fósforo. Nesse contexto, sugere-se, que talvez o sistema de manejo PREP+SOJA proporcione efeitos de

1 maiores perdas de enxofre, seja por lixiviação ou escoamento superficial, como também,
2 minimize a manutenção de teores adequados de enxofre pelo baixo incremento de matéria
3 orgânica propiciada por este sistema de manejo (Figuras 4 e 5).

4 Logicamente, que as maiores adições de calcário no PREP+SOJA também sejam
5 consideradas para tais resultados (Tabela 2). Isso porque, a neutralização da acidez em função
6 da calagem resulta em aumento de cargas negativas na superfície dos coloides (Paradelo et al.,
7 2015). Portanto, reduzindo a adsorção de SO_4^{2-} e aumentando sua lixiviação ao longo do perfil
8 no solo (Rheinheimer et al., 2005).

10 **5.4.1.4 Disponibilidade de micronutriente metálicos**

11
12 A disponibilidade de micronutrientes no solo é afetada pela mineralogia, acidez,
13 qualidade e quantidade da matéria orgânica, além das práticas de correção e adubação do solo
14 (Raij, 2011). Em solos arenosos, essa disponibilidade tende a ser ainda mais restritiva, em razão
15 da baixa reatividade para adsorção de íons e a condição limitante para acúmulo de matéria
16 orgânica (Donagemma et al., 2016).

17 Dessa forma, práticas de manejo que propiciem aumento da disponibilidade de
18 micronutrientes podem colaborar para o crescimento da produtividade em solos arenosos.
19 Nesse contexto, os resultados da presente pesquisa apontam que os sistemas de manejo com
20 uso de adubo verde, PREP+ADV, pode colaborar para maior disponibilidade de Mn e Zn
21 (Figura 8, D e E). Por outro lado, tal condição não se repete para disponibilidade Fe, tendo
22 sistema de manejo, PREP+CANA, melhores efeitos para disponibilidade de Fe (Figura 8, C).

23 Quanto a maior disponibilidade de Fe no sistema de manejo PREP+CANA (Figura
24 8, C), tem-se que as aplicações de vinhaça e torta de filtro (Tabela 2 e 3), podem ter influenciado
25 diretamente este resultado. Isso porque, ambos subprodutos possuem elevada concentração de
26 destes elementos. Conforme dados de Rosseto et al (2010), a vinhaça possui uma concentração
27 média de Fe igual a $25,17 \text{ mg L}^{-1}$. Sendo assim, ao considerar a esta concentração e a taxa de
28 aplicação de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ efetuada pela unidade sucroenergética (Tabela 2), obtém-se uma
29 adição no solo de $2,517 \text{ mg dm}^{-3}$ de Fe a cada aplicação de vinhaça.

30 Já, por parte da torta de filtro, Vitti et al (2015), demonstraram que a concentração
31 média de Fe neste subproduto é de $22,182 \text{ g dm}^{-3}$. Tendo que a unidade sucroenergética aplica
32 40 ton ha^{-1} do resíduo orgânica (Tabela 2), portanto, há uma adição de $443,378 \text{ mg dm}^{-3}$ de Fe
33 a cada aplicação de torta de filtro. Dessa forma, mesmo que haja elevadas perdas por lixiviação
34 de Fe, em função da textura arenosa dos solos em questão, é provável que frações de Fe tenham

1 se mantidos adsorvidas no complexo sortivo pelas constantes aplicações dos subprodutos
2 orgânicos. Logo, o que justificaria os maiores teores de Fe sob o sistema de manejo
3 PREP+CANA.

4 Acerca da maior disponibilidade de Mn e Zn verificado no sistema de manejo
5 PREP+ADV (Figura 8, D e E), concorda com as discussões de Cavalcante et al (2012). Ambos
6 os autores verificaram aumento na disponibilidade de Mn e Zn, com emprego de leguminosas,
7 como adubação verde. Devido a elevada exploração radicular e produção de fitomassa, estas
8 plantas intensificam a ciclagem de nutrientes, o que por consequência, contribui para os
9 acréscimos destes micronutrientes metálicos no solo.

10 Resultados similares também foram concluídos por Scheuer et al (2011), ao
11 utilizarem a *Crotalaria spectabilis*, no período de reforma canavieiro. Por sua vez, os estes
12 autores relatam que além do aumento no solo, há também aumento na absorção de
13 micronutrientes pela cultura; resultados observados pelas análises foliares.

14 A respeito da baixa disponibilidade dos micronutrientes no sistema PREP+SOJA
15 (Figura 8, C, D e E), talvez isto tenha relação com maior dose de calcário aplicada neste manejo
16 (Tabela 2). Assim, com aumento do pH, isto tende a reduzir a disponibilidade de
17 micronutrientes metálicos em razão destes elementos se ligarem a OH⁻ (Raij, 2011).

18

19 **5.4.2 A relação entre o carbono orgânico e os atributos químicos do solo**

20

21 A literatura tem demonstrado os efeitos positivos da fração orgânica, representada
22 pelos teores de carbono orgânico nos atributos químicos do solo ao longo do tempo (Burle et
23 al., 1997; Soares & Alleoni, 2008; Paradelo et al., 2015; Ramos et al., 2018; Costa et al., 2020).
24 Nesse contexto, os resultados de correlação entre o carbono orgânico e os atributos químicos
25 de solos arenosos, vem a corroborar com estes estudos e expor a necessidade da continuidade
26 de pesquisas que reforçam as melhorias nos atributos do solo por meio da matéria orgânica.

27 Segundo Liu et al (2006), alta área de superfície específica e grupos funcionais (e.g.,
28 grupos funcionais carboxílicos, fenólicos e álcoois), além de um baixo ponto de carga zero,
29 proporcionam à fração orgânica interação com a fração mineral e com a solução do solo e,
30 conseqüentemente, permite a sua influência nos atributos físicos, químicos e biológicos. Além
31 disso, a fração orgânica se constitui de uma reserva lábil de nutrientes para as culturas que
32 através dos processos de decomposição e mineralização, aumentam a disponibilidade de
33 nutrientes no solo (Zotarelli et al., 2012).

1 Assim sendo, os resultados de correlação positiva entre os teores de CO e os teores
2 de NT, estoques de NT, CTC, V%, Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figura 9, de A a F, respectivamente), K^+ , soma
3 de bases, P-disponível, enxofre, Mn e Zn (Figura 10, de A a F, respectivamente), corroboram
4 na questão de efeitos positivos diretos da fração orgânica nos atributos químicos de solos
5 arenosos.

6 Portanto, posto que correlações indicam que os altos teores de CO estão associados
7 a maiores níveis de fertilidade do solo (Figuras 9 e 10). Dessa maneira, estes resultados sugerem
8 que práticas de manejo que favoreçam e assegurem altos teores de matéria orgânica sejam
9 preconizados nos sistemas de manejo na reforma convencional em solos arenosos.

10 Para correlação positiva entre CO e NT (Figura 9, A e B), isto pode ser associado
11 ao fato que mais de 90 % do N encontra-se na fração orgânica (Rosolem et al., 2017). Da mesma
12 forma que a presente pesquisa, Groppo et al (2015) e Cherubin et al (2015) observaram
13 correlações positivas entre o CO e NT em áreas agrícolas no Brasil. Logo, o que expõe a
14 relevância da matéria orgânica para os teores de N; um elemento limitante a produtividade das
15 culturas (Otto et al., 2019).

16 Percebe-se a vista disso, que a fração orgânica pode constituir-se de uma reserva
17 lábil de N para cana-de-açúcar. Ligado ao fato de que atividade biológica contribui para
18 transformação do N orgânico em N inorgânico ao longo do tempo, isto faz aumentar a sua
19 disponibilidade para as culturas (Silva et al., 2014). Conseqüentemente, o que poderia elevar o
20 seu aproveitamento pela cana-de-açúcar.

21 Acerca da associação positiva entre os teores de CO e CTC, V%, Ca^{2+} , Mg^{2+}
22 (Figura 9, de C a F), K^+ e SB (Figura 10, A e B) isto evidencia melhorias a reatividade de solos
23 arenosos pela fração orgânica. Um aumento a reatividade, que pode significar acréscimos na
24 retenção de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), que assim, elevaria e asseguraria maiores
25 percentuais de V %. Soares e Alleoni (2008), discutem que a fração orgânica pode representar
26 mais de 50 % da CTC de solos tropicais, devidos as características da matéria orgânica, como
27 já mencionado (Liu et al., 2006). Por sua vez, Costa et al (2020), em avaliação de amostras
28 provenientes do Arenito Caiuá, concluíram que a matéria orgânica pode contribuir em média
29 52 % com a CTC destes solos.

30 Além do mais, nossos resultados corroboram as conclusões de Ramos et al (2018).
31 Estes autores, verificaram que após duas décadas da utilização do sistema semeadura direta em
32 Latossolo textura média, que a CTC deste solo dobrou em decorrência dos aumentos dos teores
33 de matéria orgânica. Dessa forma, tanto estes resultados como os da presente pesquisa,
34 exprimem a importância da manutenção e ações de aporte de matéria orgânica em solos

1 arenosos a fim de elevar a CTC; o que já havia sido apontado por Burle et al. (1997), como uma
2 das maneiras para melhorar a reatividade de solos de baixa CTC.

3 Quanto a associação positiva dos teores de CO para com os teores de P (Figura 10,
4 B), assim como discutido para N, a fração orgânica pode representar uma reserva lábil deste
5 elemento. Por meio de bactérias solubilizadoras de fosfato e enzimas fosfatases, que apresentam
6 alta atividade sob altos teores de matéria orgânica (Balota et al., 2014; Lopes et al., 2018), é
7 observado, que mediante estas atividades biológicas, há ocorrência de transformações mais
8 intensas de fósforo orgânico em inorgânico. Sendo assim, o que aumentaria a disponibilidade
9 de fósforo; justificando a correlação positiva.

10 Para mais, é necessário considerar também outros fatores relacionados a matéria
11 orgânica que influenciariam esta associação positiva. Fatores estes propiciados por ácidos
12 orgânicos, presentes na matéria orgânica, e que acarretam mecanismos como: bloqueio,
13 competição e dessorção do fósforo, nos sítios adsorção do complexo de troca (Guppy et al.,
14 2005; Pavinato & Rosolem, 2008).

15 Mesmo que em solos arenosos a capacidade de adsorção de fósforo seja menor que
16 em solos argilosos (Novais et al., 2007), enfatiza-se que a disponibilidade de fósforo poder ser
17 reduzida, devido adsorção de fósforo ocorrer via complexos de esfera-interna, isto é, por meio
18 de ligações covalentes, sem a interposição de moléculas de H₂O entre o fosfato e o grupo
19 funcional de superfície mineral. Logo, mecanismos advindos da fração orgânica (biológicos e
20 por ácidos orgânicos), podem então ser importantes para manutenção de teores de fósforo
21 disponíveis para cultura (Smith & Novais, 1998).

22 Já a correlação positiva e significativa entre os teores de CO e SO₄²⁻ (Figura 10, B)
23 evidenciam que altos teores de CO indicam altos teores de SO₄²⁻ disponíveis; corroborando
24 com Cherubin et al (2015), em que os autores encontram correlações positivas entre estes
25 atributos. Possivelmente, o aumento dos teores de carbono orgânico tende a elevar o nível de
26 atividade de enzimas arilsulfatase e rodanase; conforme discutido por Balota et al (2014) e
27 Mendes et al (2019). Enzimas estas, que atuam nas reações de transformação no enxofre
28 orgânico em sulfato (SO₄²⁻) disponível.

29 Assim, tal resultado reforça o viés da matéria orgânica ser a principal fonte de S no
30 solo (Lucheta & Lambais, 2012). Portanto, na condição de haver incrementos a fração orgânica,
31 aumenta-se a probabilidade de atividades biológicas (de enzimas e microrganismos) que
32 acarretam reações de transformações do S, e, com isso, promovendo a disponibilidade de SO₄²⁻
33 para cana-de-açúcar.

1 Acerca da correlação positiva entres os teores de CO e os teores de Mn e Zn e não
2 significativa para com os teores de Fe, isto esteja ligado associação existentes entre a matéria
3 orgânica e os micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn). Posto que a matéria orgânica, é
4 formada por ácidos húmicos e fúlvicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e
5 polissacarídeos, tais compostos são encarregados pela formação de complexos orgânicos com
6 os micronutrientes metálicos do solo (Abreu et al., 2007).

7 Estes compostos podem então, diminuir a disponibilidade destes micronutrientes,
8 por meio da formação de complexos com ácidos húmicos, ou aumentar a disponibilidade
9 quando complexados com ácido fúvico. Dada a alta concentração de grupos funcionais, como
10 os grupos carboxílicos (R-COOH), fenólicos (C₆H₅OH), alcoólicos (R-OH) e carbonila (R-
11 CH=O), isto favorece troca iônica entre H⁺ dos grupos funcionais e os íons micronutrientes
12 (Rai, 2011).

13 Por outro lado, o alto grau de seletividade demonstrado pelas substâncias húmicas
14 por alguns micronutrientes, denotam em maior ou menor preferência dependendo do
15 micronutrientes em questão. Portanto, formando complexos de esfera interna; ou seja, havendo
16 a ligação (covalente ou iônica) do micronutriente metálico ao grupo funcional de superfície,
17 sem a interposição de uma molécula de água (Meurer, 2012). A sequência de seletividade é
18 representada na seguinte ordem: Cu > Fe > Mn > Zn (Abreu et al., 2007).

19 Dessa maneira, talvez esta seletividade explique os resultados de correlação.
20 Observa-se desta forma, que Mn e Zn possuem menor preferência de complexão e formação de
21 quelatos com a matéria orgânica em comparação com o Fe. Conseqüentemente, está menor
22 interação de complexação e formação de quelatos, denotaria possivelmente em uma maior
23 correlação entre os teores de CO e os teores trocáveis de Mn e Zn (Figura 10, E e F).

24 De outra forma, há também de se considerar a formação de quelatos de
25 micronutrientes por ácidos de baixo peso molecular, faz elevar a disponibilidade destes
26 micronutrientes no solo. Isso porque, a formação destes quelatos reduzem a possibilidade de
27 precipitação dos micronutrientes como óxidos, além de constituírem como a fonte de
28 micronutrientes ao solo. Devido à presença transiente destes quelatos, eles logo são
29 decompostos, o que resulta na liberação gradativa de micronutrientes no solo (Velo et al.,
30 2018). Portanto, fatores que talvez, estejam mais relacionados a interação, CO e Mn e Zn.

31 Para mais, esta correlação positiva provavelmente indique que práticas de manejo
32 que favoreçam a adição a manutenção da matéria orgânica no solo, promove acréscimos nos
33 teores de Mn e Zn; como os sistemas de manejo, PREP+CANA e PREP+ADV. Nesse contexto,
34 Adorna et al (2013), concluíram que aplicação de torta de filtro, elevou os teores foliares de Zn,

1 Cu, Mn, Fe, B e Mo na cana-planta. Resultados atribuídos tanto pela adição de micronutrientes
2 pelo subproduto, como também, pelo aumento da matéria orgânica no solo.

3 4 **5.4.3 O impacto dos sistemas de manejo na reforma convencional canavieira** 5 **em solos arenosos**

6
7 A necessidade de práticas de manejo que elevem a fertilidade de solos arenosos é
8 essencial para exploração sustentável da cana-de-açúcar nestes solos. Nesse sentido, os
9 resultados desta pesquisa apontam que os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+SOJA,
10 proporcionam melhores condições de V% e menor acidez. Tendo estes sistemas de manejo,
11 maiores semelhanças entre si (Figuras, 11 e 12).

12 Todavia, de uma outra forma, é preciso apontar que o sistema de manejo
13 PREP+SOJA é qual proporciona os menores incrementos a fração orgânica: CO e NT. Fração
14 esta, essencial na melhoria dos atributos químicos de solos arenosos, conforme discutido no
15 item 4.3.

16 A vista disso, deve-se atentar a sistemas de manejo que favorecem o ganho de
17 carbono e nitrogênio no solo, como os sistemas PREP+CANA e PREP+ADV. Além disso, estes
18 sistemas de manejo tendem a promover acréscimos nos teores de fósforo e enxofre, elementos
19 de disponibilidade limitada – principalmente o enxofre, em solos arenosos (Huang &
20 Hartermink, 2020), e que podem vir a comprometer a produtividade e qualidade da cana-de-
21 açúcar.

22 Portanto, fatores que, pelo lado do sistema de manejo PREP+ADV, tende atenuar
23 os aspectos negativos de favorecimento a acidez e baixa V%. Para mais, tais aspectos negativos
24 podem ser mitigados pela utilização de corretivos, e dessa forma, elevar os benefícios do
25 sistema de manejo PREP+ADV para os atributos químicos do solo.

26 27 **5.5 CONCLUSÃO**

28
29 A hipótese testada não foi corroborada. O sistema de PREP+CANA favorece os
30 incrementos de carbono e nitrogênio no solo, além de melhores condições de fertilidade. Já o
31 sistema PREP+ADV, por sua vez, proporciona acúmulos de carbono e nitrogênio e melhorias
32 nos teores de fósforo, enxofre, manganês e zinco. Por outro lado, é o sistema que mais contribui
33 para condições de acidez; baixo pH e maior acidez potencial. Quanto ao sistema PREP+SOJA,
34 este tem a acarretar condições de alta V%, soma de bases e baixa acidez.

1 Nesse sentido, concluímos que o sistema PREP+CANA colabora para melhores
2 condições para os atributos químicos do solo após o período de reforma em solos arenosos.
3 Além disso, a presença de adubos verdes (PREP+ADV) ou da soja (PREP+SOJA), em função
4 do sistema de manejo, promovem efeitos contrastantes: enquanto o sistema com adubo verde
5 beneficia a fração orgânica (C e N) e os teores de ânions (P e S), o sistema com soja, a V% e
6 baixa acidez. E que, melhoria dos atributos químicos de solos arenosos (N, CTC, V%, Ca^{2+} ,
7 Mg^{2+} , K^+ , soma de bases, P, S, Mn e Zn) na camada de 0 – 40 cm estão correlacionados com o
8 aumento dos teores de carbono orgânico.

10 5.6 AGRADECIMENTOS

11
12 Ao programa de pós-graduação em agronomia da Universidade Estadual de
13 Londrina, à CAPES pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor, e ao CNPq pela
14 concessão de bolsa produtividade ao último autor.

15 Também, aos Professores Drs. Antônio Carlos Azevedo e Mauricio Roberto
16 Cherubin, ambos da Esalq-USP, pelo apoio e execução das análises mineralógicas, realizadas
17 no Laboratório de Gênese de Solo, da Esalq-USP.

19 5.7 REFERÊNCIAS

20
21 Adorna, J. C., Crusciol, C. A. C., Rossato, O. B. (2013). Fertilization with filter cake and
22 micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(3), 649-657.

23 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300011>

24
25 Abreu, C. A., Lopes, A. S., Santos, G. C. G. (2007). Micronutrientes. In: Sociedade Brasileira
26 de Ciência do Solo. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência
27 do Solo, 2007, v., p. 645-736

28
29 Agritempo. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: Início >> Acesso
30 aos Estados - SP >> Pesquisa de dados meteorológicos <

31 [https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt-br)
32 [br](https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP&lang=pt-br) > Acesso em 24 de agosto de 2020.

33
34 Alleoni, L.R.F., Mello, J.W.V., Rocha, W.S.D. 2015. Eletroquímica, adsorção e troca iônica,
35 in: Alleoni, L.R.F., Mello, V.F. (Eds). **Química e mineralogia do solo – parte 2:**
36 **aplicações**. Viçosa, SBCS, pp.70–122.

37
38

5.8 APÊNDICE 1. ARTIGO C) CORRELAÇÕES ENTRE CO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Tabela 4. Correlações de Pearson (r^2) para os atributos químicos do solo. Correlações testada a 5 e 1 % de probabilidade.

	CO	ES.CO	NT	ES.NT	pH	H+Al	CTC	V	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	P	SO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Zn
CO	1,00	0,99	0,70	0,63	0,21	0,05	0,68	0,35	0,39	0,57	0,52	0,51	0,80	0,98	0,20	0,36	0,61
<i>p-valor</i>		0,0000	0,0000	0,0000	0,0402	0,6178	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0559	0,0003	0,0000
ES.CO		1,00	0,67	0,63	0,24	0,01	0,67	0,37	0,39	0,57	0,54	0,52	0,76	0,97	0,25	0,31	0,55
<i>p-valor</i>			0,0000	0,0000	0,0209	0,8928	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0136	0,0024	0,0000
NT		0,67	1,00	0,98	-0,01	0,27	0,60	0,10	0,15	0,31	0,50	0,30	0,55	0,67	0,21	0,29	0,47
<i>p-valor</i>				0,0000	0,9067	0,0076	0,0000	0,3524	0,1471	0,0019	0,0000	0,0033	0,0000	0,0000	0,0357	0,0041	0,0000
ES.NT			0,98	1,00	0,01	0,23	0,56	0,10	0,13	0,29	0,52	0,29	0,46	0,60	0,29	0,19	0,37
<i>p-valor</i>					0,9202	0,0215	0,0000	0,3358	0,2021	0,0035	0,0000	0,0037	0,0000	0,0000	0,0045	0,0577	0,0002
PH					1,00	-0,49	0,41	0,93	0,83	0,60	0,48	0,85	0,32	0,25	0,20	-0,17	0,01
<i>p-valor</i>						0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0132	0,0506	0,1066	0,9271
H+Al						1,00	0,11	-0,46	-0,23	-0,43	-0,20	-0,31	0,05	0,02	-0,32	0,45	0,20
<i>p-valor</i>							0,2713	0,0000	0,0221	0,0000	0,0502	0,0019	0,6350	0,8123	0,0013	0,0000	0,0531
CTC							1,00	0,50	0,66	0,58	0,56	0,78	0,62	0,66	0,13	0,30	0,44
<i>p-valor</i>								0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2054	0,0031	0,0000
V								1,00	0,89	0,70	0,56	0,90	0,42	0,38	0,16	-0,09	0,11
<i>p-valor</i>									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,1226	0,3729	0,2721
Ca ²⁺									1,00	0,52	0,37	0,90	0,49	0,41	-0,02	0,08	0,22
<i>p-valor</i>										0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,8723	0,4584	0,0276
Mg ²⁺										1,00	0,73	0,75	0,49	0,57	0,43	0,00	0,24
<i>p-valor</i>											0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9761	0,0179
K ⁺											1,00	0,64	0,40	0,49	0,54	-0,13	0,10
<i>p-valor</i>												0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2022	0,3197
SB												1,00	0,54	0,53	0,21	0,05	0,25
<i>p-valor</i>													0,0000	0,0000	0,0392	0,6621	0,0138
P													1,00	0,80	0,08	0,34	0,57
<i>p-valor</i>														0,0000	0,4410	0,0008	0,0000
SO ₄ ²⁻														1,00	0,18	0,35	0,60
<i>p-valor</i>															0,0712	0,0004	0,0000
Fe															1,00	-0,29	-0,09
<i>p-valor</i>																0,0036	0,4031
Mn																1,00	0,69
<i>p-valor</i>																	0,0000
Zn																	1,00

- 1 Balota, E.L., Yada, I.F., Amaral, H., Nakatani, A.S., Dick, R.P. and Coyne, M.S. (2014),
2 Long-term land use influences soil microbial biomass p and s, phosphatase and arylsulfatase
3 activities, and s mineralization in a brazilian oxisol. **Land Degrad. Develop.**, 25: 397-406.
4 <https://doi.org/10.1002/ldr.2242>
5
- 6 Barbosa, V. F. A. M. (2011). Plantio. Santos, F. A., Borem, A., Caldas, C. S. **Cana de**
7 **açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool - tecnologias e perspectivas**. 1. ed. Visconde do Rio
8 Branco: Editora Suprema, v. 1, p. 51-71.
9
- 10 Bassi, D., Menossi, M. & Mattiello, L. (2018). Nitrogen supply influences photosynthesis
11 establishment along the sugarcane leaf. **Sci Rep** 8, 2327. [https://doi.org/10.1038/s41598-018-](https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1)
12 [20653-1](https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1)
13
- 14 Beck, M.A., Sanchez, P.A. (1994). Soil Phosphorus Fraction Dynamics during 18 Years of
15 Cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, 58: 1424-1431.
16 <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050021x> .
17
- 18 Boddey, R.M., Jantalia, C.P., Conceição, P.C., Zanatta, J.A., Bayer, C., Mielniczuk, J.,
19 Dieckow, J., Dos Santos, H.P., Denardin, J.E., Aita, C., Giacomini, S.J., Alves, B.J. And
20 Urquiaga, S. (2010), Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical
21 agriculture. **Global Change Biology**, 16: 784-795. [https://doi.org/10.1111/j.1365-](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x)
22 [2486.2009.02020.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x)
23
- 24 Bolinder, M., Angers, D., Giroux, M. et al. (1999). Estimating C inputs retained as soil
25 organic matter from corn (*Zea Mays* L.). **Plant and Soil** 215, 85–91.
26 <https://doi.org/10.1023/A:1004765024519>
27
- 28 Bolonhezi, D., Gonçalves, N. H. (2015). Rotação de culturas. In: Belardo, G. C., Cassia, M.
29 T., Silva, R. P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1 ed. –
30 Jaboticabal: SBEA, p.219-242.
- 31 Bolonhezi, D., Vischi Filho, O. J., Mello, W. M., Vitti, A. C., Bolonhezi, A. C., Brancalião, S.
32 R. (2019). Manejo e Conservação do Solo em Cana-de-Açúcar. In: Bertol, I., Maria, I. C.,
33 Souza, L. S. (Org.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 1ed.Viçosa: Sociedade
34 Brasileira de Ciência do Solo, 2019, v. 1, p. 1029-1080.
35
- 36 Bordonal, R. O., Menandro, L. M. S., Barbosa, L. C., Lal, R., Milori, D. M. B. P., Kolln, O.
37 T., Franco, H. C. J., Carvalho, J. L. N. (2018). Sugarcane yield and soil carbon response to
38 straw removal in south-central Brazil, **Geoderma**, Volume 328, pp. 79-90.
39 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.003>.
40
- 41 Buehler, S., A. Oberson, I. M. Rao, D. K. Friesen, E. Frossard. (2002). Sequential Phosphorus
42 Extraction of a ³³P-Labeled Oxisol under Contrasting Agricultural Systems. **Soil Sci. Soc.**
43 **Am. J.** 66:868-877. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.8680>
44

- 1 Burle, M., Mielniczuk, J., Focchi, S. (1997). Effect of cropping systems on soil chemical
2 characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**. 190, 309–316.
3 <https://doi.org/10.1023/A:1004266831343>
4
- 5 Caires, E. F., Haliski, A., Bini, A. R., Scharr, D.A. (2015). Surface liming and nitrogen
6 fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **Eur. J. Agron.** 66,
7 41–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008>.
8
- 9 Cantarella, H.; Prochnow, L. I (2001). Determinação de sulfato em solos. In: B. van Raij; J.C.
10 de Andrade; H. Cantarella; J.A. Quaggio. (Org.). **Análise química para avaliação da**
11 **fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001, v. p. 225-230.
12
- 13 Cantarella, H.; Trivelin, P.C.O. (2001). Determinação de nitrogênio total em solo. In: B. van
14 Raij; J.C. de Andrade; H. Cantarella; J.A. Quaggio. (Org.). **Análise química para avaliação**
15 **da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001, v., p. 262-269.
16
- 17 Cavalcante, V. S., Santos, V. R., Santos Neto, A. L., Santos, M. A. L., Santos, C. G., Costa,
18 Leonardo C. (2012). Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista**
19 **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16(5), 521-528.
20 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500008>
21
- 22 Cerri, C.C., Galdos, M.V., Maia, S.M.F., Bernoux, M., Feigl, B.J., Powlson, D. and Cerri,
23 C.E.P. (2011). Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an
24 examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, 62: 23-28.
25 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>
26
- 27 Cherr, C. M., J. M. S. Scholberg, and R. McSorley. (2006). Green Manure Approaches to
28 Crop Production Florida Agric. Exp. Stn. Journal Series no. R-10702. **Agron. J.** 98:302-319.
29 [doi:10.2134/agronj2005.0035](https://doi.org/10.2134/agronj2005.0035)
30
- 31 Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Karlen, D. L., Pavinato, P. S., Rodrigues,
32 M., Davies, C. A., Cerri, C. C. (2016). Phosphorus pools responses to land-use change for
33 sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. **Geoderma**, v. 265, p. 27-38, 2016.
34 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.017>
35
- 36 Cherubin, M.R., Carvalho, J.L.N., Cerri, C.E.P., Nogueira, L.A.H., Souza, G.M., Cantarella, H.
37 (2021). Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy.
38 **Land**, 10, 72. <https://doi.org/10.3390/land10010072>
39
- 40 Christofolletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F. U., Fontanetti, C.S. (2013).
41 Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste Manag.** 33, 2752–2761.
42 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>
43

- 1 Coleti, J. T. O preparo do solo sob a ótica conservacionista. (2010). In: Dinardo-Miranda, L.
2 L., Vasconcelos, A. C. M., Landell, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. 1ed. Campinas:
3 Instituto Agronômico de Campinas. v. 1, p. 573 – 583.
4
- 5 Costa, A. C. S., Souza Junior, I. G., Canton, L. C., Gil, L. G., Figueiredo, R. (2020).
6 Contribution of the chemical and mineralogical properties of sandy-loam tropical soils to the
7 cation exchange capacity. **Rev Bras Cienc Solo**. pp. 1-18.
8 <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200019>
9
- 10 Damon, P.M., Bowden, B., Rose, T., Rengel, Z. (2014). Crop residue contributions to
11 phosphorus pools in agricultural soils: a review. **Soil Biol. Biochem.**, 74, 127-137.
12 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.003>
13
- 14 Das K., Biswakarma N., Zhiipao R., Kumar A., Ghasal P.C., Pooniya V. (2020) Significance
15 and Management of Green Manures. In: Giri B., Varma A. (eds) **Soil Health. Soil Biology**, vol
16 59. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_12
17
- 18 Dieckow, J., Bayer, C., Conceição, P. C., Zanatta, J. A., Martin-Neto, L., Milori, D. B.,
19 Salton, J. C., Macedo, M. M., Mielniczuk, J., Hernani, L. C. (2009). Land use, tillage, texture
20 and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils.
21 **European Journal of Soil Science**, 60: 240-249. [https://doi.org/10.1111/j.1365-](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x)
22 [2389.2008.01101.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x)
- 23 Dignac, MF., Derrien, D., Barré, P. et al. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms,
24 effects of agricultural practices and proxies. A review. **Agron. Sustain. Dev.** 37, 14.
25 <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>
26
- 27 Donagemma, G. K., Freitas, P. L. de, Balieiro, F. de C., Fontana, A., Spera, S. T., Lumbreras,
28 J. F., Viana, J. H. M., Araujo filho, J. C. de, Santos, F. C. dos, Albuquerque, M. R. de, Macedo,
29 M. C. M., Teixeira, P. C., Amaral, A. J., Bortolon, E., Bortolon, L. (2016). Caracterização,
30 potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**
31 vol.51, n.9, pp.1003-1020. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001>.
32
- 33 Ellert, B. H., Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils
34 under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**. 75(4): 529-538.
35 <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>
36
- 37 Feller, C., Beare, M.H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in
38 the tropics, **Geoderma**, Volume 79, 69-116. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00039-](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00039-6)
39 [6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00039-6).
40
- 41 Fink, J.R., Inda, A.V., Bavaresco, J., Barrón, V., Torrent, J. and Bayer, C. (2016). Phosphorus
42 adsorption and desorption in undisturbed samples from subtropical soils under conventional
43 tillage or no-tillage. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 179: 198-205.
44 <https://doi.org/10.1002/jpln.201500017>

- 1 Fontana, A., Campos, Boas, D. V. (2017). Carbono Orgânico. In: Teixeira, P. C.,
2 Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de**
3 **solo**. 3ed.Brasília: Embrapa, 2017, v., p. 360-367.
4
- 5 Franchini, J. C., Campo, C. B. H., Torres, E., Miyazawa, M.; Pavan, M. A. (2003). Organic
6 composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid
7 oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 34:13-14, 2045-2058.
8 <https://doi.org/10.1081/CSS-120023237>
9
- 10 Franco, A. L. C., Cherubin, M. R., Pavinato, P. S., Cerri, C. E. P., Six, J., Davies, C. A., Cerri,
11 C. C. (2015). Soil carbon, nitrogen, and phosphorus changes under sugarcane expansion in
12 Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 515-516, p. 30-38.
13 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.025>
14
- 15 Garcia-Montiel, D. C., C. Neill, J. Melillo, S. Thomas, P. A. Steudler, and C. C. Cerri. (2000).
16 Soil Phosphorus Transformations Following Forest Clearing for Pasture in the Brazilian
17 Amazon. **Soil Sci. Soc. Am. J.** <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451792x>
18
- 19 Gatiboni, L. C., Saggini, A., Brunetto, G., Horn, D., Flores, J. P. C., Rheinheimer, D. S.,
20 Kaminski, J. (2003). Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem
21 superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, 33(2), 283-290.
22 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200016>
23
- 24 Groppo, J. D., Lins, S. R. M., Camargo, P. B., Assad, E. D., Pinto, H. S., Martins, S. C.,
25 Salgado, P. R., Evangelista, B., Vasconcellos, E., Sano, E. E., Pavão, E., Luna, R., Martinelli,
26 L. A. (2015). Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in
27 Brazil. **Biogeosciences**, v. 12, n. 15, p. 4765-4780. [Doi:10.5194/bg-12-4765-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-4765-2015)
28
- 29 Guppy, C. N., Menzies, N. W., Moody, P. W., Blamey, F. P. C. (2005). Competitive sorption
30 reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Aust J Soil Res**, 43:2,
31 189. <https://doi.org/10.1071/SR04049>
32
- 33 Huang, J., Hartemink, A., E. (2020). Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-**
34 **Science Reviews**, 208,103295. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>.
35
- 36 IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. BDIA, Banco de dados de informações
37 ambientais. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia> > [Acesso
38 em 24 de julho de 2019].
39
- 40 Jastrow, D. (1996). Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-
41 associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Volume 28, 4–5, 1996, 665-676.
42 [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00159-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00159-X).
43

- 1 Kurihara, C. H., Venegas, V. H. Al., Neves, J. C. L., Novais, R. F. (2013). Acúmulo de
2 matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Rev. Ceres**. vol.60,
3 n.5, 690-698. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000500013>.
4
- 5 Kuzyakov, Yakov (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic
6 matter. **Soil Biology and Biochemistry**, 42, 1363-1371.
7 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>.
8
- 9 Liu, X., Herbert, S.J., Hashemi, A.M., Zhang, X., Ding, G., (2006). Effects of agricultural
10 management on soil organic matter and carbon transformation – a review. **Plant Soil**
11 **Environ.** 52, 531–543. <https://doi.org/10.17221/3544-PSE>
12
- 13 Lopes, A. A. C., Sousa, D. M. G., Reis, F. B. D., Figueiredo, C. C., Malaquias, J. V., Souza,
14 L. M., Mendes, L. C. (2018). Temporal variation and critical limits of microbial indicators in
15 oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Reg.** 12:72–82.
16 <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.01.003>
17
- 18 Lucheta, A. R., Lambais, M. R. (2012). Sulfur in agriculture. **Revista Brasileira de Ciência**
19 **do Solo**, 36(5), 1369-1379. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500001>
20
- 21 Marcelo, A. V., Corá, J. E., Fernandes, C. (2012). Sequências de culturas em sistema de
22 semeadura direta: II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista**
23 **Brasileira de Ciência do Solo**, 36(5), 1568-1582. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500021)
24 [06832012000500021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500021)
25
- 26 Meinzer, F.C., Zhu, J., 1998. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C₄CO₂
27 concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **J Exp**
28 **Bot**, 49:324, 1227–1234. <https://doi.org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1093/jxb/49.324.1227>
29
- 30 Mendes, I. C., Sousa, D. M. G., Reis-Junior, F.B., Lopes, A. A. C., Souza, L.M., Chaer, G. M.
31 (2019). Bioanálise de Solo: Aspectos Teóricos e Práticos. **Tópicos Em Ciência Do Solo**, v.
32 X, p. 399-462, 2019
33
- 34 Meurer, J. E., Rheinheimer, R. D., Bissani, C. A (2013). Fenômenos de sorção em solos. In:
35 Meurer, J. E. **Fundamentos de química de solo**. 5ed. Porto Alegre, Evangraf. pp.113-154.
36
- 37 Murphy B. W. (2015) Impact of soil organic matter on soil properties—a review with
38 emphasis on Australian soils. **Soil Research** 53, 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
39
- 40 Fageria, N. K. (2012). Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping
41 Systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 43:16, 2063-2113.
42 <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.697234>
43
- 44 Nepar., 2019. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. NEPAR, 2 ed.
Curitiba.

- 1 Novais, R. F., Smyth, J. T., Nunes, F. N. (2007). Fósforo. In: Roberto Ferreira de Novais,
2 Victor Hugo Alvarez Venegas; Nairam Félix de Barros; Renildes Lúcio Ferreira Fontes;
3 Reinaldo Bertola Cantarutti, Júlio Cesar Lima Neves. (Org.). **Fertilidade do Solo**.
4 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 471-550.
5
- 6 Oliveira Junior, A., Castro, C., Oliveira, F. A., Klepker, D. (2020). Fertilidade do solo e
7 avaliação do estado nutricional da soja. In: Seixas, C. D. S., Neumaier, N., Balbinot Júnior, A.
8 A., Krzyzanowski, F. C., Leite, R. M. V. B. C. (Org.). (2020). **Tecnologias de produção de**
9 **soja**. 1. ed. Londrina: Embrapa, v.1. pp. 133-184.
10 Oliveira, L. E. Z., Nunes, R. S., Sousa, D. M. G., Figueiredo, C. C. (2020). Dynamics of
11 residual phosphorus forms under different tillage systems in a Brazilian Oxisol, **Geoderma**,
12 Volume 367. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114254>.
13
- 14 Otto, R., Mariano, E., Mulvaney, R. L., Khan, S. A., Boschiero, B. N., Tenelli, S., Trivelin, P.
15 C. O. (2019). Effect of previous soil management on sugarcane response to nitrogen
16 fertilization. **Scientia Agricola**, 76(1), 72-81. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0147>
17
- 18 Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A
19 review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 202, 98-107.
20 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>.
21
- 22 Pauletti, Volnei et al. (2014). Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema
23 de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2014, v. 38, n. 2 495-505.
24 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200014>.
25
- 26 Pavan, M. A., Bloch, M. D. M., Zemoulski, H. C., Miyazawa, M., Zocoler, D. C. (1992).
27 Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR; 1992.
28 **(Circular Técnica, 76)**.
29
- 30 Pavinato, P.S., Rosolem, C.A., (2008). Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e
31 liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do**
32 **Solo**, 32:3, 911-920. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>
33
- 34 Peche Filho, A., Ambrosano, E. J., Luz, P. H. C. (2014). Semeadura e manejo da biomassa de
35 adubos verdes. In: Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F. Donizeti, J. A. C. (Org.).
36 **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil - fundamentos e prática**. 1ed. Brasília -
37 DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 169-188.
38
- 39 Pereira, A. P., Schoffel, A., Koefender, J., Camera, J. N., Golle, D. P., Horn, R. C. (2017).
40 Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**,
41 40(4), 120-129. <https://dx.doi.org/10.19084/RCA17065>
42

- 1 Pinto, C. R. O., Nahas, E. (2002). Atividade e população microbiana envolvida nas
2 transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesquisa Agropecuária**
3 **Brasileira**, 37(12), 1751-1756. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001200011>
4
- 5 Pissinati, A. Moreira, A., Santoro, P. H. (2018) Yield components and nutrients content in
6 summer cover plants used in crop rotation in no-tillage system. **Communications in Soil**
7 **Science and Plant Analysis**, 49:13, 1604-1616.
8 <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474899>
9
- 10 Prado, R. M., Caione, G., Campos, Cid., N. S. (2013). Filter Cake and Vinasse as Fertilizers
11 Contributing to Conservation Agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v.
12 2013, p. 1-8. <https://doi.org/10.1155/2013/581984>
13
- 14 Puget, P., L.E. Drinkwater. 2001. Short-Term Dynamics of Root- and Shoot-Derived Carbon
15 from a Leguminous Green Manure. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65:771-779.
16 [doi:10.2136/sssaj2001.653771x](https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653771x)
17
- 18 Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil
19 functions: A review. **Geoderma**. Volume 314, 122-137.
20 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
21
- 22 Raij, B. van. (2011). Interações entre nutrientes e solo. In:_____. **Fertilidade do solo e**
23 **manejo de nutrientes**. IPNI, Piracicaba. pp. 39-80.
24
- 25 Ramos, F. T., Dores, E. F. C., Weber, O. L. S., Beber, D. C., Campelo, J. H., Maia, J. C. S.
26 (2018). Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till
27 farming in Brazil. **J. Sci. Food Agric**, 98: 3595-3602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>
28
- 29 Ramos, N. P., Yamaguchi, C.S., Pires, A. M. M., Rossetto, R., Possenti, R. A., Packer, A. P.
30 C., Cabral, O. M. R., Andrade, C.A. (2016). Decomposição de palha de cana-de-açúcar
31 recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,
32 v. 51, p. 1492-1500. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900048>
33
- 34 Razafimbelo, T. M., Albrecht, A., Oliver, R., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Feller, C.
35 (2008). Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under
36 Malagasy conventional and no-tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.98, p.140-149.
37 <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.012> .
38
- 39 Rheinheimer, D. S., Alvarez, J. W. R., Osorio Filho, B. D., Silva, L. S., Bortoluzzi, E. C.
40 (2005). Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura
41 arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, 35(3), 562-569. [https://doi.org/10.1590/S0103-](https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300011)
42 [84782005000300011](https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300011)
43

- 1 Rheinheimer, D. S., Tiecher, T., Gonzatto, R., Santanna, M. A., Brunetto, G., Silva, L.S.,
2 (2018a). Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural
3 grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from
4 South Brazilian Campos. **Soil Till. Res.** 180, 222–231.
5 <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.014>
6
- 7 Rheinheimer, D.S., Tiecher, T., Gonzatto, R., Zafar, M., Brunetto, G., (2018b). Residual
8 effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long term experiment under no-till
9 in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma** 313, 7–16.
10 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.024>.
11
- 12 Rochester, I., Peoples, M. (2005). Growing vetches (*Vicia villosa* Roth) in irrigated cotton
13 systems: inputs of fixed N, N fertiliser savings and cotton productivity. **Plant Soil** 271, 251–
14 264. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-2621-1>
15
- 16 Rosolem, C. A., Ritz, K., Cantarella, H., Galdos, M. V., Hawkesford, M. J., Whalley, W. R.,
17 Mooney, S. J. (2017). Enhanced Plant Rooting and Crop System Management for Improved
18 N Use Efficiency. **Advances in Agronomy**. 1ed.: Elsevier, 2017, v. 146, p. 205-239.
19 <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.002>
20
- 21 Ross, J., Moroz, I. (2011). Mapa Geomorfológico Do Estado De São Paulo. Revista Do
22 Departamento De Geografia, 10, 41-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>
23
- 24 Rossetto, R., Dias, F. L. F., Vitti, A., Tavares, S. (2010). Potássio. In: Dinardo-Miranda, L.L.,
25 Vasconcelos, A.C.M., Landell, M.G.A. (Org.). **Cana-de-açúcar**. 1ed.Campinas: IAC, v. 1, p.
26 289-311.
27
- 28 Sattolo, T. M. S., Mariano, E., Boschiero, B. N., Otto, R. (2017). Soil carbon and nitrogen
29 dynamics as affected by land use change and successive nitrogen fertilization of sugarcane.
30 **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 247, 63-74.
31 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.005>.
32
- 33 Scarpare, F. V., de Jong van Lier, Q., de Camargo, L., Pires, R. C. M., Ruiz-Corrêa, S. T.,
34 Bezerra, A. H. F., Dias, C. T. S. (2019). Tillage effects on soil physical condition and root
35 growth associated with sugarcane water availability. **Soil and Tillage Research**, 187, 110–
36 118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>
37
- 38 Segnini, A. et al. Carbon stock and humification index of organic matter affected by
39 sugarcane straw and soil management. **Scientia Agricola** [online]. 2013, v. 70, n. 5 pp. 321-
40 326. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500006>.
41
- 42 Signor, D., Zani, C. F., Paladini, A. A., Deon, M. D., Cerri, C. E. P. (2014). Estoques de
43 carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

- 1 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5), 1402-1410. <https://doi.org/10.1590/S0100->
2 [06832014000500005](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005)
3
- 4 Silva, A. P., Babujia, L. C., Franchini, J. C., Ralisch, R., Hungria, M., Guimarães, M. F.
5 (2014). Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop
6 management systems. **Soil and Tillage Research**, Volume 142, 42-53,
7 <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>.
8
- 9 Silva, F.C., Marchiori, L.F.S., Freitas, P.L., Farias, J.R.B. Silva, C.J. (2012) Zoneamento de
10 áreas de reforma de cana para a produção de biocombustíveis a partir da soja na região
11 Centro-Sul. **Revista ALCOOLbrás**, n.138, p.63-68, 2012.
12
- 13 Silva, R. P., Fernandes, C. (2014). Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on
14 soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**,
15 Viçosa, v. 38, n. 2, p. 575-584, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200022>.
16
- 17 Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. (2004). A history of research on the link between
18 (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**,
19 Vol.79(1), pp.7-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
20
- 21 Smyth, T. J., Novais, R. F. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1. ed.
22 Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399p.
23
- 24 Soares, M. R., Alleoni, L. R. F. (2008) Contribution of Soil Organic Carbon to the Ion
25 Exchange Capacity of Tropical Soils, **Journal of Sustainable Agriculture**, 32:3, 439-462.
26 <https://doi.org/10.1080/10440040802257348>
27
- 28 Soltangheisi, A., Santos, V. R., Franco, H. C. J., Kolln, O., Vitti, A. C., Dias, C. T. S.,
29 Herrera, W. F. B., Rodrigues, M., Soares, T. M., Withers, P. J. A., Pavinato, P. S. (2019).
30 Phosphate Sources and Filter Cake Amendment Affecting Sugarcane Yield and Soil
31 Phosphorus Fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 43.
32 <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180227>
33
- 34 Souza, C. M., Pires, F. R., Partelli, F. L., Assis, R. L. (2012). **Adubação Verde e Rotação de**
35 **Culturas**. 1º. ed. Viçosa: Editora UFV, 108p.
36
- 37 Teixeira, P. C., Campos, D. V. B., Bianchi, S. R., Perez, D. V., Saldanha, M. F. C. (2017)
38 Cátions trocáveis. In: Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Org.).
39 **Manual de métodos de análise de solo**. 3ed.Brasília: Embrapa, 2017, v. p. 209-232.
40
- 41 Tenelli, S., de Oliveira Bordonal, R., Barbosa, L.C. et al (2019) Can reduced tillage sustain
42 sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? **Bioenerg. Res.** 12, 764–777.
43 <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09996-3>
44

- 1 Thorup-Kristensen, K., Dresbøll, D. B., Kristensen, H. L. (2012). Crop yield, root growth, and
2 nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of
3 external inputs and N re-cycling through fertility building crops. **European Journal of**
4 **Agronomy**, 37(1), 66–82. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.11.004>
5
- 6 Trindade, S. P., Castro, S. S. (2015). Mudanças no uso e impactos da expansão canavieira sobre
7 solos frágeis no Sudoeste Goiano. In: Castro, S.S., Hernani, L.C. (Ed.). **Solos frágeis:**
8 **caracterização, manejo e sustentabilidade**. 1ed.Brasília: Embrapa, v. 1, p. 243-270.
9
- 10 Urquiaga, S., Alves, B. J. R., Jantalia, C. P., Boddey, R. M. (2010). Variações nos Estoques de
11 Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa em Solos das Regiões Tropicais e Subtropicais do
12 Brasil: Uma Análise Crítica. Piracicaba - SP: **International Plant Nutrition Institute**,
13 (Informações Agronômicas, 130).
14
- 15 Veloso, M. G., Angers, D. A., Tiecher, T., Giacomini, S., Dieckow, J., Bayer, C. (2018). High
16 carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops.
17 **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 268,15-23.
18 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.024>.
19
- 20 Viadana, A. G., Cavalcanti, A. P. B. (2007). A Teoria dos Refúgios Florestais Aplicada ao Estado
21 de São Paulo. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 8-9, p. 61-80.
22
- 23 Vitti, G. C., Otto, R., Ferreira, L. R. P. (2015). Manejo Nutricional da Cultura de Cana-de-Açúcar.
24 In: Belardo, G.C.; Cassia, M.T.; Silva, R.P. (Org.). **Processos Agrícolas e Mecanizados da**
25 **Cana-de-Açúcar**. 1ed.Jaboticabal: SBEA, 2015, v. 1, p. 177-206. Volume 326, 164-200
26
- 27 Wutke, E. B., Calegari, A., Wildner, L. P. (2014) Espécies de adubos verdes e plantas de
28 cobertura e recomendações para seu uso. In: Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F.
29 Donizeti, J. A. C. (Org.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e**
30 **prática**. 1ed.Brasília - DF: Embrapa, v. 1, p. 59-167
31
- 32 Yost, J. L., Hartemink, A. E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances in**
33 **Agronomy**. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004>
34
- 35 Zani, C. F., Barneze, A. S., Robertson, A. D., Keith, A. M., Cerri, C. E. P., McNamara, N. P.,
36 Cerri, C. C. (2018). Vinasse application and cessation of burning in sugarcane management can
37 have positive impact on soil carbon stocks. **PeerJ** 6:53-98 <https://doi.org/10.7717/peerj.5398>
38
- 39 Zhu, J., Li, M., Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus
40 availability in agricultural soils: A review. **Science of The Total Environment**, Volume 612, 522-
41 537. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>.
42
- 43 Zotarelli, L., Zatorre, N. P., Boddey, R. M., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Franchini, J. C., Alves,
44 B. J. R. (2012). Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations
45 for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Volume
46 132, 185-195, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Posto a temática central desta tese, de testar a hipótese de que “o sistema de manejo com uso de adubo verde na reforma convencional canavieira promove as melhores condições para os atributos dos solos arenosos”, e com o objetivo de “analisar os efeitos nos atributos de solos arenosos na reforma convencional canavieira sob diferentes sistemas de manejo”, concluímos com base nos três estudos em questão, que a hipótese testada é corroborada no que tange as condições de melhorias a: reatividade de solos arenosos; atributos físicos: Ds, PT, Ma, Mi e RP; e, atributos químicos: acúmulo de matéria orgânica (carbono orgânico e nitrogênio total), disponibilidade de fósforo e enxofre, teores de Mn e Zn.

Observa-se que a utilização de adubo verde (*Crotalaria spectabilis*, PREP+ADV) eleva a reatividade de solos arenosos, verificada pelos maiores teores de substâncias húmicas, a citar: carbono orgânico (CO), ácido fulvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU). O aumento destas substâncias húmicas induz a correlações positivas com o ponto de carga zero (PCZ), ▲pH e CTC(T). Dessa maneira, o que demonstra efeitos no balanço e na geração de cargas nos solos arenosos. Por conseguinte, implicando em aumento de reatividade nestes solos.

Quanto aos atributos físicos do solo, o sistema de manejo, PREP+ADV, proporciona valores de menor densidade (Ds) e maiores resultados para porosidade total (PT), macro (MA) e microporosidade (Mi), além de valores superiores ao PREP+CANA, em relação ao índice de estabilidade de agregados. Tais resultados demonstram a capacidade deste sistema de manejo, PREP+ADV, em mitigar a degradação dos atributos físicos de solos arenosos.

Sobre a semelhança de efeitos entre PREP+ADV e PREP+SOJA, no índice de estabilidade de agregados (IEA), isto exhibe que a presença de plantas, de cobertura ou culturas comerciais, induz melhorias a agregação dos solos arenosos, quando utilizadas no período de reforma. Portanto, demonstrando um efeito positivo da rotação de culturas na reforma convencional canavieira.

Para o acúmulo de carbono e nitrogênio (teores e estoques) há efeitos semelhantes entre os sistemas de manejo, PREP+CANA (com uso de subprodutos orgânicos; como a vinhaça e a torta de filtro) e PREP+ADV (*Crotalaria spectabilis*). Verifica-se que estes sistemas de manejo propiciam incrementos superiores, em comparação com o sistema de manejo com soja, PREP+SOJA.

Estes mesmos resultados ocorrem para disponibilidade de fósforo e enxofre: maiores para os sistemas de manejo PREP+CANA e PREP+ADV, e menores para o PREP+SOJA.

1 Contudo, quando considerado os níveis de acidez (pH e H+Al) e V%, o sistema
2 PREP+ADV é qual menos contribui para melhores índices de fertilidade. Nesse aspecto, os
3 sistemas PREP+CANA e PREP+SOJA, são superiores e semelhantes, inferindo em condições
4 de solo com menor acidez e maior V%. Ainda para os atributos químicos, o sistema de manejo
5 PREP+ADV se mostra superior PREP+SOJA, apenas para disponibilidade de P, S, Mn e Zn.

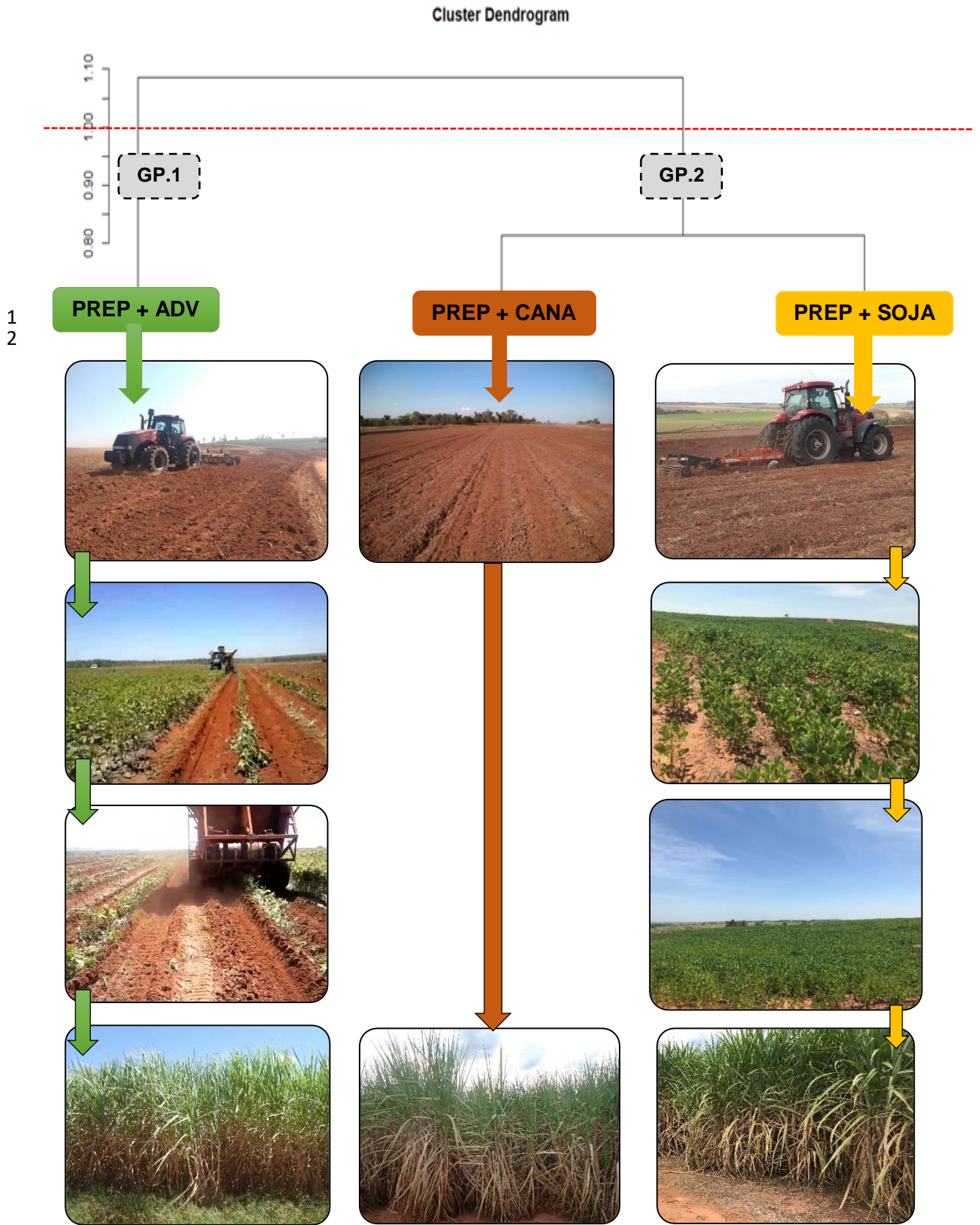
6 Outro aspecto constatado nesta tese é a de que melhorias aos atributos de solos
7 arenosos estão correlacionados com o aumento dos teores de carbono orgânico. As correlações
8 significativas, apresentadas nos três artigos, positivas para os atributos químicos (AF, AH, HU,
9 PCZ, ▲pH, CTC(T), V%, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SB, P-disponível, S-SO₄²⁻, Mn e Zn²⁺) e físicos (PT,
10 Ma, Mi); e, negativas para os atributos físicos (Ds e RP), apontam que sistemas de manejo que
11 promovam a adição e a manutenção de matéria orgânica nestes solos, devem ser preferidos em
12 relação aqueles com baixo potencial de acúmulo carbono orgânico.

13 Nesse sentido, sugerimos que seja dada preferência aos sistemas de manejo,
14 PREP+CANA (com uso de subprodutos orgânicos: vinhaça e torta de filtro) ou PREP+ADV
15 (com *Crotalaria spectabilis*), em relação ao sistema de manejo com soja, PREP+SOJA, na
16 reforma convencional canavieira sob solos arenosos. Todavia, posto as melhores condições para
17 os atributos físicos proporcionadas pelo sistema de manejo PREP+ADV, e que, este sistema de
18 manejo infere em efeitos semelhantes de incrementos de carbono e nitrogênio no solo, ao
19 sistema PREP+CANA, tem-se aqui, um apontamento para seja dada preferência em solos
20 arenosos o sistema de manejo PREP+ADV.

21 Tal sugestão é reforçada, uma vez que pelas análises multivariadas (Figura 1 e 2,
22 deste item.6, “considerações finais”), realizadas com todos os atributos analisados (substâncias
23 húmicas, físicos e químicos), tem-se a formação de dois grupos: 1, PREP+ADV; e, 2,
24 PREP+CANA e PREP+SOJA. Dessa maneira, observa-se que os efeitos do sistema de manejo,
25 PREP+ADV, para os atributos de solos arenosos se contrasta com os outros sistemas.

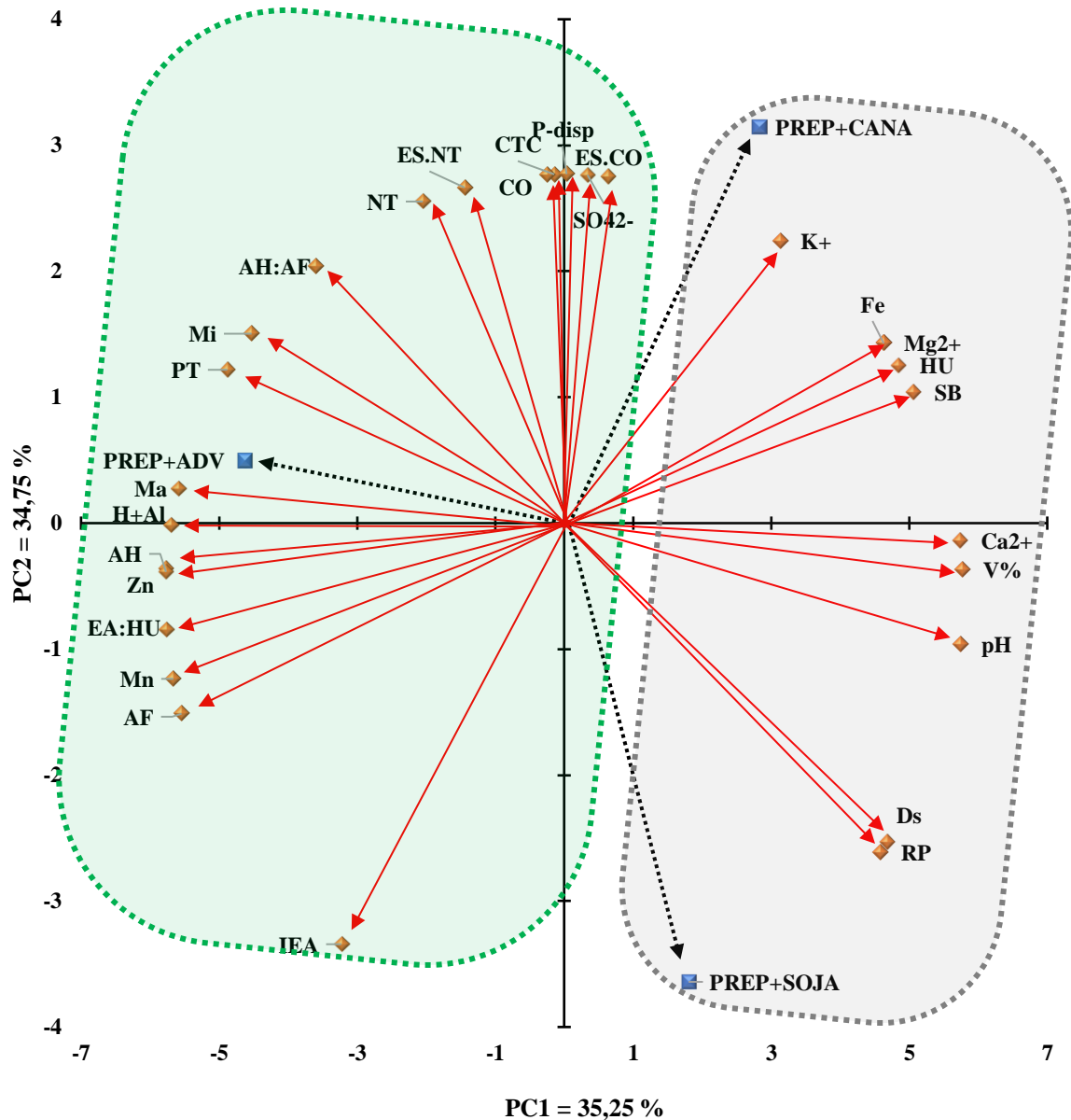
26 Resultado este, principalmente devido as melhores condições para os atributos
27 físicos do solo, induzidas pelo uso do adubo verde, logo após o preparo convencional. Já os
28 sistemas, PREP+CANA e PREP+SOJA, apresentaram impactos negativos para estes atributos.

29 Em síntese, possivelmente, a utilização de adubo verde (*Crotalaria spectabilis*)
30 junto ao preparo convencional no período de reforma, proporcione aumento na qualidade de
31 solos arenosos para o cultivo da cana-de-açúcar. Além disso, a adição de matéria orgânica
32 promovida por este sistema de manejo, poderá então acarretar efeitos benéficos a capacidade
33 de troca cátions do solo. E assim, atenuar seus impactos negativos a fertilidade do solo.



3 **Figura 1.** Análise de cluster para os atributos do solo: substâncias húmicas, físicos e químicos;
 4 em função dos diferentes sistemas de manejo na reforma convencional canieira.

5
 6



■ SISTEMAS DE MANEJO ◆ ATRIBUTOS DO SOLO

1
2 **Figura 2.** Análise de componentes principais para os atributos do solo para os sistemas de
3 manejo na reforma convencional canieira: PREP+CANA, PREP+ADV e PREP+SOJA.
4 **Substâncias húmicas:** AF, ácido fúlvico; AH, ácido húmico; HU, humina; EA:HU, extrato
5 alcalino (AF+AHU):humina; e, AH:AF, relação ácido húmico: ácido fúlvico. **Atributos físicos:**
6 Ds, densidade do solo; PT, porosidade total; Ma, macroporosidade; Mi, microporosidade; RP,
7 resistência a penetração do solo; e, IEA, índice de estabilidade de agregados. **Atributos**
8 **químicos:** CO, carbono orgânico; ES.CO, estoque de carbono; NT, nitrogênio total; ES.NT,
9 estoque de nitrogênio; pH; H+Al; Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺; SB, soma de bases; V%; CTC(T); P-disp.
10 Fósforo disponível; SO₄²⁻; Fe, Mn e Zn.

7. CONCLUSÃO GERAL

O sistema de manejo, preparo convencional + adubo verde (*Crotalaria spectabilis*) (PREP+ADV) é o qual promove as melhores condições de teores de substâncias húmicas (ácidos fulvicos e húmicos, e relação (AF+AH:HU)), atributos físicos (menor Ds e maior porosidade (Ma, Mi e PT), e índices de estabilidade de agregados). Além disso, de forma semelhante ao preparo convencional + cana (PREP+CANA), induz a maiores acúmulos (teores e estoque) de carbono e nitrogênio.

No entanto, para os atributos químicos, por um lado, o PREP+ADV, acarreta maiores teores de P, S, Mn e Zn, em comparação aos outros sistemas de manejo. Por outro, é o sistema de manejo com maior acidez e menor saturação por bases. Assim, sendo o sistema de manejo com os menores benefícios a fertilidade do solo.

Já o sistema de manejo, preparo convencional + cana (PREP+CANA) promove aumentos no acúmulo (teores e estoques) de carbono orgânico e nitrogênio total, além de, proporcionar menor acidez e alta saturação por bases. Todavia, o PREP+CANA, é o sistema de manejo que mais contribui para os menores índices de estabilidade de agregados.

E quanto ao sistema de manejo, preparo convencional + soja (PREP+SOJA), este sistema permite as melhores condições químicas para os solos arenosos: menor acidez e maior saturação por bases. Já, para os atributos físicos, o PREP+SOJA, denota ser o sistema de manejo que prejudica a porosidade do solo: em que acarreta os maiores níveis de densidade do solo e os menores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

Ademais, a melhoria dos atributos de solos arenosos é correlacionada com aumento dos teores de carbono orgânico na camada de 0 – 40 cm. E os sistemas, PREP+CANA e PREP+SOJA, possuem maior semelhanças entre si, pelos seus efeitos semelhantes aos atributos químicos (efeitos benéficos) e físicos (efeitos negativos) do solo, e, que se contrastam com o sistema de manejo PREP+ADV.