

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**INDICADORES DE QUALIDADE QUÍMICA DE UM ARGISSOLO
AMARELO DISTROCOESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO**

ALEX LALAS SILVA DA SILVA

SÃO LUÍS - MA

2019

ALEX LALAS SILVA DA SILVA

**INDICADORES DE QUALIDADE QUÍMICA DE UM ARGISSOLO AMARELO
DISTROCOESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Monografia apresentada à banca examinadora do Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^ª Dra. Marlen Barros e Silva

SÃO LUÍS – MA

2019

ALEX LALAS SILVA DA SILVA

**INDICADORES DE QUALIDADE QUÍMICA DE UM ARGISSOLO AMARELO
DISTROCOESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Aprovada em: 03/07/2019

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Marlen Barros e Silva (Orientadora)
Doutora em Ciência do Solo - UFRRJ

Professora Dra. Ana Maria Silva de Araújo
Doutora em Ciência do Solo - UFRRJ

Professor Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Júnior
Doutor em Ciência do Solo - UFRRJ

Silva, Alex Lalas Silva da.

Indicadores de qualidade química de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob diferentes sistemas de manejo / Alex Lalas Silva da Silva. – São Luís, 2019.

48 f

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Marlen Barros e Silva.

1.Química do solo. 2.Plantio direto. 3.Saúde do solo. I.Título

CDU: 631.41-049.2(812.1)

DEDICO

Aos meus pais Alex Fábio dos Santos Silva e Maria de Jesus da Silva, também a minha avó Maria Cecy Marques dos Santos, meus maiores exemplos, que sempre me incentivaram e me ensinaram percorrer os melhores caminhos .

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que em toda sua plenitude me concede a oportunidade de realizar meus objetivos com louvor, me dando sempre força e coragem para seguir em frente sem desistir.

Aos meus pais Alex Fábio e Maria de Jesus, assim como a minha avó Maria Cecy. Muito obrigado por todo o investimento aplicado a mim, pelas cobranças, acompanhamento da minha vida acadêmica desde o início, sem vocês eu não seria nada!

Aos meus irmãos Ana Luisa e Adryan Luís, por todo o companheirismo, além de me motivarem a sempre dar o meu melhor para servir de exemplo. A minha prima Carla Fernanda (o meu exemplo acadêmico), por todo o apoio, pelas conversas e conselhos, sempre me encorajando a continuar e não desistir. Em geral a toda a minha família por acreditar no meu potencial e compartilhar momentos bons e ruins, saibam que as minhas conquistas são de vocês também.

À UEMA por todas as oportunidades oferecidas, também a FAPEMA pelo apoio financeiro concedido para a realização do projeto.

À professora Marlen Barros e Silva, por ter confiado no meu potencial e aceitado me orientar, conduzido esta tarefa com extrema maestria em toda a execução do projeto.

Ao professor Marcos Gervasio, da UFRRJ, pelo auxílio com as análises de carbono orgânico presentes neste trabalho.

À Amanda Sales, minha prezada companheira de projeto, que partilhou comigo todos os momentos, desde as primeiras coletas até a “turbulenta” caminhada que foi o período de elaboração desta monografia.

Agradeço imensamente ao apoio dos amigos da UEMA: Thárssila Freire, Elaine Victória, Admo Junior, Messias Abreu, Carlos Eduardo, Clenya Carla, Matheus Silva, Alex Cruz, Aurian Reis e Ruan Íthalo, pessoas extremamente especiais que conheci durante o curso.

Aos companheiros de coleta Rodrigo Barbosa, Adriano, Lucas Romão, Mizael e Francisco.

Ao proprietário da Fazenda Tamboris Guilherme Schmitz Librelotto, por permitir que o trabalho fosse executado em sua área.

A todos que direta ou indiretamente me apoiaram e me deram forças para realizar esse trabalho, assim como as que ajudaram de alguma maneira no processo de realização do mesmo.

MUITO OBRIGADO!

“Nem tudo está perdido como parece... sabe, coisas extraordinárias só acontecem a pessoas extraordinárias, vai ver é um sinal que você tem um destino extraordinário, algum destino maior do que você pode ter imaginado.”

As Crônicas de Nárnia – C. S. Lewis

RESUMO

Obter parâmetros para avaliar a qualidade do solo é uma tarefa complexa, pois a mesma depende de características intrínsecas do solo. Para isso são utilizados indicadores de qualidade que consistem em atributos químicos, físicos e/ou biológicos dos solos que, entre outras características, sofrem alterações passíveis de serem detectadas a curto, médio e/ou longo prazo. Monitorar a saúde do solo através de indicadores químicos é viável pois estes são bastante eficazes em demonstrarem as alterações decorrentes de manejo, tornando-se ferramentas fundamentais tanto para o desenvolvimento agrônomo quanto para a preservação ambiental. Tendo em vista esses fatores, objetivou-se nesse trabalho analisar os atributos químicos como indicadores de qualidade em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico sob o plantio de soja, comum na região leste do Maranhão, utilizando o comparativo entre três áreas diferentes: Cerrado Nativo (CN) que serviu como testemunha, um Sistema de Plantio Direto (SPD) e um Sistema de Preparo Convencional (SPC), em dois períodos distintos; seco e chuvoso. Em cada período foram alocadas aleatoriamente cinco unidades amostrais de 20 x 20 m nas três áreas estudadas (CN, SPD, SPC), onde foram coletadas em cada unidade amostral oito amostras deformadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com o auxílio de um trado do tipo holandês, e oito amostras indeformadas nas mesmas profundidades nas paredes de minitrincheira alocadas no meio das unidades amostrais, com o auxílio de um anel de Kopecky com 100cm³. Os seguintes atributos químicos do solo foram analisados: pH em água; Cálcio e Magnésio, Potássio e Sódio trocáveis; Matéria Orgânica, Carbono Orgânico total, Fósforo total, Alumínio trocável e Estoque de Carbono, que foi determinado multiplicando-se o teor de C orgânico pelo peso médio do volume de solo por profundidade. Posteriormente esses dados foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade. Os solos da área de Cerrado demonstraram valores baixos para a maioria dos aspectos avaliados, exceto para alumínio e carbono orgânico. Comparando os dois sistemas de manejo, o SPD não se diferenciou do SPC na maioria dos aspectos avaliados. Foi perceptível a alteração dos atributos químicos do solo natural em função da antropização, por conta do uso de adubações, calagens dentre outras técnicas, também foi possível observar que alguns atributos químicos se modificam de acordo com a sazonalidade e que os Estoques de Carbono não diferiram em função do manejo. É necessário que se aprimore os sistemas de manejo conservacionistas como o SPD para o leste maranhense, com o objetivo de manter a saúde do solo, a fim de prevenir, recuperar e/ou manter a sua qualidade, possibilitando o desenvolvimento agrícola dentro dos conceitos de sustentabilidade, mostrando aos produtores que é possível assegurar a sua produção e produtividade sem grandes impactos aos ecossistemas, tendo em vista a sensibilidade do Cerrado a antropização.

Palavras-chave: Química do solo, plantio direto, saúde do solo.

ABSTRACT

Obtaining parameters to evaluate soil quality is a complex task, since it depends on intrinsic soil characteristics. Therefore, quality indicators are used, consisting of chemical, physical and/or biological attributes of the soils that, among other characteristics, suffer from changes that can be detected in the short, medium and/or long term. Monitoring soil health through chemical indicators is feasible because they are very effective in demonstrating the changes resulting from management, becoming essential tools for both agronomic development and environmental preservation. Considering these factors, the objective of this study was to analyze the chemical attributes as indicators of quality in a Distrocoesus Yellow Argisol typical under soybean plantation, common in the eastern region of Maranhão, using the comparison between three different areas: Native Savanna (CN) that served as a witness, a Direct Planting System (SPD) and a Conventional Processing System (SPC), in two distinct periods; dry and rainy. In each period, five sample units of 20 x 20 m were randomly allocated in the three areas studied (CN, SPD, SPC), where eight deformed samples were collected in each sampling unit at depths of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm with the aid of a Dutch-type test, and eight undisturbed samples at the same depths in the minitrunk walls allocated in the middle of the sample units, with the aid of a 100 cm³ Kopecky ring. The following soil chemical attributes were analyzed: pH in water; Calcium and Magnesium, exchangeable Potassium and Sodium; Organic Matter, Total Organic Carbon, Total Phosphorus, Exchangeable Aluminum and Carbon Stock, which was determined by multiplying the organic C content by the mean soil volume weight per depth. Subsequently these data were submitted to analysis of variance at 5% probability. Soils in the Savanna area showed low values for most aspects evaluated, except for aluminum and organic carbon. Comparing the two management systems, the SPD did not differ from the SPC in most aspects evaluated. It was possible to change the chemical attributes of the natural soil as a function of anthropization, due to the use of fertilizers, liming among other techniques, it was also possible to observe that some chemical attributes change according to the seasonality and that the Carbon Stocks did not differ depending on the handling. It is necessary to improve conservation management systems such as the SPD for eastern Maranhão, with the objective of maintaining soil health in order to prevent, recover and/or maintain its quality, enabling agricultural development within the concepts of sustainability, showing producers that it is possible to ensure their production and productivity without major impacts to ecosystems, given the sensitivity of the Savanna to anthropization.

Keywords: Soil chemistry, direct planting, soil health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do Município de Buriti no Estado do Maranhão.	24
Figura 2 - Áreas do estudo: (a) Cerrado nativo, (b) sistema de preparo convencional, (c).....	25
Figura 3 - Valores médios de Carbono Orgânico Total (COT) (em g kg^{-1}) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017 (COT1) e em junho de 2018 (COT2) ⁽¹⁾	27
Figura 4 - Valores médios de Fósforo disponível (P) (em mg kg^{-1}) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017 (P1) e em junho de 2018 (P2) ⁽¹⁾	29
Figura 5 - Valores médios de pH em H_2O e Alumínio trocável (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾	30
Figura 6 - Valores médios de pH em H_2O e Alumínio trocável (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018 ⁽¹⁾	31
Figura 7 - Valores médios de Cálcio e Magnésio (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾	32
Figura 8 - Valores médios de Cálcio e Magnésio (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾	33
Figura 9 - Valores médios de Potássio e Sódio (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾	34
Figura 10 - Valores médios de Potássio e Sódio (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾	34
Figura 11 - Valores médios da Soma de Bases trocáveis (SB) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Saturação por bases (V%) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾	35

Figura 12 - Valores médios da Soma de Bases trocáveis (SB) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Saturação por bases (V%) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾ 36

Figura 13 - Valores médios e somatório do Estoque de Carbono (EC) (em Mg C. ha^{-1}) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾ 37

Figura 14 - Valores médios e somatório do Estoque de Carbono (EC) (em Mg C. ha^{-1}) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾ 38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral.....	14
2.2	Específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Desenvolvimento Agrícola no Cerrado Brasileiro	14
3.2	Sistemas de Manejo dos Solos no Cerrado	18
3.3	Qualidade do Solo e seus Indicadores	20
3.3.1	Indicadores químicos de qualidade do solo.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1	Área de Estudo	23
4.2	Análises Químicas.....	26
4.3	Análise Estatística e Tabulação de Dados.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6	CONCLUSÕES.....	39
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
8	REFERÊNCIAS	40
	ANEXOS	47

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a demanda por produtos agropecuários vem crescendo a cada dia, o que tem levado, frequentemente, ao uso intensivo do solo pelas atividades agropecuárias causando grandes prejuízos ambientais pela retirada da vegetação nativa para a implantação de monoculturas. O Cerrado brasileiro é um grande exemplo deste fenômeno: com a expansão da fronteira agrícola, os solos deste bioma vêm sofrendo drasticamente com a degradação por conta de uso de sistemas de manejo inadequados, o que causa interferência direta em seus atributos químicos, físicos e biológicos (Gazzola et al., 2015).

Felizmente, a preocupação com a degradação do solo e do meio ambiente tem-se constituído em tema de interesse crescente para institutos de pesquisa e produtores rurais, fazendo com que se tenha a inserção de métodos alternativos ao preparo convencional, tais como novos sistemas de manejo dos solos e dos recursos naturais, que são adotados na tentativa de reverter os danos ambientais e a exaustão dos recursos naturais, principalmente a degradação do solo, a fim de aumentar a produção e produtividade agrícola de forma sustentável (Pereira et al., 2012).

Sistemas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, estão sendo bastante empregados para sanar ou reduzir os prejuízos causados por anos de utilização incorreta do solo, tendo em vista que nesse sistema ocorre ausência de revolvimento aliado à manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, o que possibilita a redução da emissão de CO₂ e aumenta os estoques de carbono. Além disso, há benefícios como aumento da diversidade microbiana e melhoria na fertilidade química do solo e de seus atributos físicos (Lourente et al., 2011; Gazzola et al., 2015).

Porém, em solos como os presentes na região leste do Maranhão, que são extremamente suscetíveis aos danos ocasionados por manejo inadequado, tem-se uma grande dificuldade de manutenção da matéria orgânica no solo, devido sua rápida decomposição. Além disso, esses solos (Predominantemente Latossolos e Argissolos) geralmente apresentam caráter coeso em profundidade, o que aliado ao uso intensivo do revolvimento do solo, proporciona uma ação mais rápida dos processos erosivos e compactação do solo, processos os quais esses solos já são sujeitos naturalmente (Azevedo et al., 2007).

Dentre as propriedades do solo afetadas diretamente pela descaracterização do ambiente natural, tem-se os atributos químicos, principalmente dos primeiros horizontes, devido à adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas. Dentre as consequências, tem-se variações nos valores de pH e teores de cátions do solo, além da modificação nos teores de alumínio

trocável e na matéria orgânica, com acentuada influência nos processos de funcionamento do ecossistema (Araújo et al., 2012; Freitas et al., 2015).

Os indicadores químicos geralmente são agrupados em variáveis relacionadas aos teores de matéria orgânica do solo, acidez, quantidade de nutrientes, elementos fitotóxicos e algumas relações de saturação. Expressar a disponibilidade de macro e micronutrientes essenciais e suas relações se faz necessário para que a qualidade do solo seja avaliada em função do seu manejo (Araújo et al., 2012).

As condições químicas do solo têm influência direta na relação solo-planta, tornando a avaliação dos seus atributos químicos um aparato extremamente necessário no que se refere à identificação se um solo está saudável ou não, pois através desta pode-se conhecer a fertilidade química de um determinado solo, possibilitando a orientação adequada sobre as condições de manejo e o potencial de utilização para a execução de uma agricultura sustentável (Milindro et al., 2015).

Nesse sentido, monitorar as alterações ocorridas nos atributos de solo em agroecossistemas condicionadas pelos sistemas e práticas de manejo é essencial para definir e traçar estratégias que tragam menores impactos ao meio ambiente (Cherubin et al., 2015).

Para tanto, faz-se necessário o uso de parâmetros de sustentabilidade que quantificam e indicam o grau de alteração do sistema, pois verificar modificações ocorridas nas propriedades do solo, principalmente as causadas por intervenção humana em ambientes naturais, constitui um importante mecanismo que auxilia no monitoramento da conservação ambiental, permitindo caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e até prever situações futuras (Cardoso et al., 2011). Tais parâmetros são denominados Indicadores de Qualidade do Solo (IQS).

Vale aqui ressaltar que a avaliação da qualidade do solo deve ser uma análise temporal, uma vez que alterações significativas nos atributos do solo em função de diferentes manejos levam tempo para acontecer, como já observado por Aratani et al. (2009) e Leite et al. (2010). Para Anghioni (2007), os primeiros cinco anos de desenvolvimento do sistema de plantio direto compreendem a fase inicial do sistema, sendo esse tempo insuficiente para a obtenção de resultados significativos.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar os atributos químicos de um solo sob vegetação de cerrado nativo (CN) e sob dois diferentes sistemas de manejo da cultura da soja: preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD) no município de Buriti (MA), a fim de selecionar aqueles com melhor performance em indicar a qualidade química do solo.

2.2 Específicos

- Comparar as características químicas de um Argissolo Amarelo sob vegetação natural de Cerrado nativo com aquelas do solo sob Plantio Direto e Sistema de Preparo Convencional;
- Avaliar a contribuição de diferentes usos do solo nos estoques de carbono;
- Fornecer subsídios para a definição de sistemas racionais de manejo dos solos do Cerrado leste maranhense.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desenvolvimento Agrícola no Cerrado Brasileiro

A atividade agropecuária tem sido um pilar fundamental para o desenvolvimento da economia brasileira desde a sua formação, e com isso, a necessidade de expandir as áreas de produção foi cada vez maior. Com o advento da “Revolução verde”, as fronteiras agrícolas do país foram se rompendo uma a uma, fazendo com que o território nacional fosse sendo ocupado com novas áreas viáveis para a produção. Assim, todos os espaços considerados aptos foram dominados, e a expansão foi se distribuindo por todo o território nacional, incluindo até a Floresta Amazônica, que até então era a última fronteira agrícola a ser desbravada no país (Buainan & Garcia, 2015; Garcia, 2014).

Entretanto, uma nova fronteira agrícola surgiu e vem se abrindo nos últimos anos: o Cerrado brasileiro, área que por muito tempo foi considerada inapropriada para o cultivo devido suas fortes restrições, tanto ecológicas quanto econômicas e sociais (Vidal & Evangelista, 2012; Farias & Zanberlan, 2013; Suassuna, 2013) e até pouco tempo só era utilizada para a pecuária extensiva em pastagens naturais e pequenos cultivos para a subsistência.

Destacando-se por sua grande extensão, ocupando aproximadamente 24% do território brasileiro, englobando 12 estados e o Distrito Federal (MMA, 2018), o Cerrado brasileiro começou ser visto com outros olhos devido às possibilidades ofertadas por conta da tecnificação do mercado agrícola. Assim, o Estado, que nesta conjuntura foi principal órgão interessado na expansão da fronteira agrícola para as áreas de cerrado, tornou-se o articulador e financiador das atividades agrícolas nessa região, impulsionando a produção através de incentivos fiscais e subsídios para crédito rural, fornecendo uma melhoria na infraestrutura tanto de escoamento quanto de armazenamento de produção, além de políticas que facilitaram a ocupação do Cerrado (Frederico, 2013).

O investimento para desenvolver agricultura no Cerrado não se deu apenas por sua grande extensão: Apesar dos solos demonstrarem uma baixa fertilidade natural e uma acidez acentuada, fatores limitantes para o alcance de boa produtividade (Bottega et al., 2013), o Cerrado proporciona outros fatores favoráveis para o desenvolvimento agrícola, tais como uma topografia predominantemente plana (facilitando a entrada de maquinário), precipitação em níveis satisfatórios, clima estável, solos profundos e bem drenados (Camargo et al., 2010; Fernandes & Pessôa, 2011; Francisco & Kappes, 2012).

Com as possibilidades proporcionadas por inovações tecnológicas obtidas através de pesquisas científicas (em grande parte feitas por empresas privadas), os fatores limitantes supracitados tornaram-se meros detalhes, fazendo com que fossem facilmente corrigidos com adubações, calagens e outras técnicas. O desenvolvimento tecnológico também auxiliou na adaptação de várias culturas para as condições do Cerrado por meio do melhoramento genético, assim como o desenvolvimento de defensivos e insumos necessários para manter as lavouras, que aliados à facilidade de acesso a compra de máquinas agrícolas ocasionou o nascimento do pacote tecnológico agrícola do Cerrado, que hoje é indispensável para o desenvolvimento da agricultura convencional, fazendo com que essa área fosse consagrada como o celeiro agrícola do Brasil (Durigan, 2010; Calaça, 2010; Francisco & Kappes, 2012; Fernandes & Pessôa, 2012).

Sem dúvidas, o desenvolvimento da agricultura no Cerrado gera muita renda para o Brasil, pois o mesmo tornou-se um dos maiores, se não o maior produtor de soja, milho, algodão, cana de açúcar, além de áreas de pastagens, o que acrescenta muito ao PIB do país, devido à exportação desses produtos, assim como a venda interna. Porém, há um certo questionamento em relação à concentração dessas riquezas em um grupo diminuto de

produtores, que se tornam muito importantes no cenário econômico (Francisco & Kappes, 2012; Silva et al., 2017).

Infelizmente, a busca por grandes produtividades ultrapassa os limites ecossistêmicos do bioma Cerrado, pois algumas práticas empregadas pela agricultura moderna acabam reduzindo a biodiversidade dessas áreas, o que leva a simplificar e as vezes até a exterminar de processos naturais estabelecidos pela teia ecológica daquele determinado nicho (Calaça, 2010).

Apesar de possuir uma aparência árida e hostil, apresentando árvores de pequeno porte com adaptações morfológicas para o ambiente (troncos retorcidos e casca grossa), que predominam na composição florística e tornaram-se a vegetação característica desse bioma (Garcia, 2009), o Cerrado brasileiro é considerado um *hotspot* mundial na conservação da biodiversidade, possuindo uma riqueza impar em espécies, muitas até desconhecidas. Entretanto, os programas de conservação do mesmo ainda são muito falhos, fazendo com que esse bioma tão rico fique à mercê da degradação ocasionada por vários fatores, um deles a exploração agrícola (Fernandes & Pessôa, 2011; Francisco & Kappes, 2012).

Um grande dilema se forma em cima da exploração agrícola do Cerrado: de um lado, a necessidade de produzir para atender as demandas alimentares da população, além de gerar empregos e concentrar renda para o país; de outro, a necessidade de conservar e manter a vegetação natural, berço de inúmeras bacias hidrográficas e pontos de recarga de aquíferos, com espécies até mesmo desconhecidas, fundamental para a pesquisa e desenvolvimento do país.

A conversão do Cerrado em áreas de alto potencial agrícola é tida por muitos como um milagre, e por outros, como um grande erro, como cita Durigan (2010). Isto porque a intensificação e crescimento dos grandes cultivos acaba resultando na transformação intensa do espaço natural, e isso se dá principalmente através do uso excessivo de maquinário, desmatamento generalizado e altas dosagens de fertilizantes, dentre outros fatores (Leite et al., 2010), implicando em grandes prejuízos e fortes impactos ao bioma Cerrado, dentre eles a redução do habitat natural de espécies, aniquilação de germoplasmas, modificação do ecossistema e conseqüentemente quebra do equilíbrio ecológico, contaminações e degradação dos solos (Fernandes & Pessôa, 2011).

A padronização dos modelos de produção para atender as demandas do mercado acaba colocando em xeque os recursos ambientais. Mesmo que a tecnologia seja majoritariamente dominada pelos grandes produtores, os pequenos também sofrem os impactos econômicos e passam a tentar aumentar a produtividade de seus cultivos, utilizando o que está ao seu alcance,

as vezes até de forma errônea devido à falta de assessoria técnica, o que leva a degradação e contaminação de suas terras, que em muitos casos encontram-se em áreas que deveriam ser designadas para a conservação do Cerrado (Calaça, 2010).

Devido sua importância e sensibilidade, o bioma Cerrado necessita de uma atenção especial em vários aspectos. Trazendo para o viés agrônômico, deve-se atentar principalmente ao tipo de ocupação e uso do solo, pois este pode causar uma degradação acelerada, dando início a um processo de inviabilização das terras que a longo prazo pode impossibilitar a execução de atividades agrícolas de maneira permanente.

De certa forma, os grupos que lutam pela conservação das áreas de Cerrado ainda são muito marginalizados, tendo em vista a nítida contraposição de ideias entre ruralistas e ambientalistas. Porém, há uma crescente necessidade de levar a conhecimento público a importância e necessidade desse bioma para estabilidade de uma série de recursos, principalmente a água, tendo conhecimento de que o Cerrado detém o título de “berço das águas”, por abrigar as nascentes de diversos afluentes que compõem as mais importantes bacias hidrográficas da América do Sul, tais como a Amazônica, a Platina e a Bacia do São Francisco (Garcia, 2009; Buainan & Garcia, 2015).

É mais difícil salvar algo cuja existência e importância são desconhecidas entre os tomadores de decisão. O processo de conscientização e a educação das crianças brasileiras será um grande passo para o futuro do Cerrado. O desenvolvimento sustentável deverá ser o foco do Governo Federal, embora a ideia ainda predominante no país seja a de “celeiro do mundo”, efetivada na era Vargas. Do mesmo modo, coexiste o conceito defendido pelos militares na era militar de que ressaltar o meio ambiente atrasaria o desenvolvimento do país. Esses pensamentos atualmente são incabíveis, e deverão ser mudados. (Fernandes & Pessôa, 2011, p. 32).

Mesmo a agricultura sendo uma atividade extremamente dependente de recursos naturais, ela depende do desenvolvimento técnico-científico humano, fazendo-se necessário buscar melhores alternativas para equilibrar estes dois pontos. A busca por modelos sustentáveis é um claro sinal que o modelo convencional de agricultura é ineficiente e inadequado do ponto de vista social, ambiental e econômico. Então, cabe ao produtor utilizar os recursos que estão ao seu alcance para desenvolver uma agricultura sustentável nos solos do Cerrado, que quando manejada de maneira certa, torna-se lucrativa e muito viável.

Portanto, para assegurar uma agricultura sustentável no Cerrado, é necessário que se entenda seus processos naturais, e que seus limites ecossistêmicos sejam respeitados, tendo em vista sua importância tanto como área de produção quanto área de preservação ambiental. Nesses sentidos, o estudo de sistemas de manejo eficazes para essa região se faz indispensável para o seu desenvolvimento agrícola, pois a sustentabilidade nos processos produtivos do

Cerrado só é possível quando se busca e aplica técnicas agronômicas de manejo adequadas, que reduzem os prejuízos ao meio ambiente e garantem uma produção adequada e produtividade satisfatória.

3.2 Sistemas de Manejo dos Solos no Cerrado

A conversão de ecossistemas naturais em áreas de intensa exploração agrícola nas últimas décadas promoveu e ainda promove a descaracterização e degradação de biomas sensíveis à antropização, tendo como exemplo claro o Cerrado (FARIA et al., 2010). Essa transformação afeta o ambiente de diferentes formas, muitas delas negativas, porém, os impactos ao solo merecem uma atenção especial, tendo em vista que este é uma importante peça do equilíbrio ecossistêmico (Papa et al., 2011).

Freitas et al. (2015) relatam que “os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo em virtude de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acúmulo e decomposição de matéria orgânica”. Assim, tem-se a ideia de que a retirada da vegetação natural para a implantação de culturas de interesse agrícola implica diretamente na resiliência do solo, pois essa modificação do ecossistema acaba reduzindo sua capacidade de recuperação.

É muito comum ter-se diversos problemas relacionados à degradação do solo em áreas submetidas ao monocultivo (Leite et al., 2010; Lourente et al., 2011; Freitas et al., 2017). Em sistemas convencionais de preparo do solo, onde arados e grades pesadas são empregados para revolver o solo e incorporar os resíduos vegetais em sua quase totalidade, deixando a superfície do solo à mercê da ação erosiva das chuvas, a degradação do ecossistema é inevitável. Tendo em vista as limitações que ocorrem comumente nos solos do Cerrado devido à sua formação (baixa fertilidade, acidez acentuada, fácil compactação, etc.), esse processo de degradação se torna muito mais rápido e acentuado, impactando diretamente em fatores de extrema importância como a estrutura do solo, fertilidade, oxidação da matéria orgânica e redução da população de organismos (Matias et al., 2009; Campos et al., 2011; Iwata et al., 2012; Lisboa et al., 2012; Stefanoski et al., 2013; Cherubin et al., 2015).

É para sanar estes problemas que se estuda sistemas que empregam práticas mais racionais de manejo como, por exemplo, o plantio direto, a rotação de culturas e a integração lavoura-pecuária (ILP) ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Gazzola et al., 2015). Essas práticas apresentam-se como alternativas sustentáveis para a produção, pois além de promoverem a proteção do solo, proporcionam o aumento da renda líquida e a realização de uma agricultura em bases sustentáveis, tornando-se uma etapa fundamental para o

aprimoramento dos sistemas produtivos (Moreti et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Monteiro, 2012).

Dentre as inúmeras vantagens do SPD, ressalta-se o incremento nos teores de matéria orgânica do solo, o que, além de melhorar a fertilidade química e a estrutura do solo, contribui com o aumento do estoque de carbono do solo e, consequentemente, com a mitigação dos gases de efeito estufa, muito embora pesquisas apontem que em solos sob SPD, os incrementos na matéria orgânica ocorrem somente na camada superficial, até no máximo 30 cm, sendo inferiores aos teores encontrados no SPC se as camadas mais profundas do solo também forem consideradas (Baker et al., 2007; Cunha et al., 2011; Francisco & Kappes, 2012).

Apesar das vantagens da adoção do sistema de plantio direto em substituição ao sistema de preparo convencional do solo, necessita-se de vários cuidados no SPD, uma vez que o sucesso do SPD decorre especialmente do acúmulo de palhada e do uso de maquinário próprio assim como um relevo mais plano, facilitando a realização dos tratos culturais. Por essa razão, o plantio direto, ainda que se encontre em expansão, é praticado sobretudo por grandes produtores por conta da necessidade de tratos culturais específicos que muitas vezes inviabilizam financeiramente a sua adoção por pequenos produtores (Blainski et al., 2012; Pereira & Thomaz, 2015).

Também é importante ressaltar que para a inserção de sistemas de manejo como o plantio direto nas áreas de Cerrado, tem-se a necessidade de lançar mão de técnicas integradas como a calagem para a correção do solo e adubação para a correção dos macros e micronutrientes, devido à acidez acentuada e baixa fertilidade dos solos (Leite et al., 2010).

Para o melhor funcionamento do plantio direto, é comum associá-lo à rotação de culturas, geralmente com o uso de gramíneas e leguminosas para aumentar o aporte de matéria orgânica no solo, pois apenas os resíduos culturais não são suficientes e essa pouca diversificação tendo soja como cultura principal e milho na safrinha acaba dificultando a exploração do solo pelo sistema radicular dessas culturas, o que, aliado à intensa movimentação de máquinas, pode levar à compactação do solo (Leite et al., 2010; Andreotti et al., 2010; Costa et al., 2011).

Vale ressaltar também que a quantidade e qualidade da biomassa produzida pela planta é um fator chave na implantação do plantio direto, pois se trata de um sistema aberto onde a adição de energia ocorre através da quantidade de carbono existente na cobertura vegetal depositada no solo e a saída dessa energia se dá através da decomposição da matéria orgânica. Assim, a eficácia do sistema de plantio direto se dá pela redução da velocidade da decomposição

da matéria orgânica, tendo em vista que é mais interessante a permanência da energia por mais tempo no sistema, fazendo com que os resíduos orgânicos protejam e disponibilizem nutrientes para o solo por um maior período, tornando importante a escolha correta das espécies a serem usadas como cobertura, tendo em vista as condições edafoclimáticas da região onde o Cerrado se encontra, que propiciam a rápida decomposição da matéria orgânica (Silva et al., 2009; Andrade et al., 2012; Cunha et al., 2012). Vários estudos apontam os benefícios do plantio direto para a conservação do solo (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2011; Gazzola et al., 2015).

O monitoramento das alterações que ocorrem nos atributos do solo em agroecossistemas de acordo com os diferentes sistemas de manejo, torna-se essencial para traçar e definir estratégias para a prática de uma agricultura sustentável sem que haja queda de produção ou produtividade, já que a produtividade está diretamente relacionada à capacidade produtiva dos solos, e esta é extremamente dependente do manejo empregado (Silva et al., 2009; Cherubin et al., 2015).

Gazzola et al. (2015) comprovam que a degradação do solo pode ser revertida através do emprego de práticas conservacionistas como o sistema plantio direto, porém informações relacionadas à eficácia deste modelo sobre a qualidade do solo em áreas de Cerrado ainda são escassas, pois a maioria desses estudos ocorre na região centro-sul do Brasil. A qualidade do solo é fundamental para definir a eficiência e viabilidade do manejo que foi empregado ao solo. Assim, a avaliação da qualidade do solo é de extrema importância para assegurar a sustentabilidade do mesmo em sistemas agrícolas (Matias et al., 2009; Leite et al., 2010).

3.3 Qualidade do Solo e seus Indicadores

A discussão sobre qualidade do solo começou a se intensificar a partir da década de 90, devido à consciência da comunidade científica em relação à importância do solo tanto para a manutenção da qualidade ambiental quanto para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, assim abordando nas publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (Vezzani & Mielniczuk, 2009; Alvarenga et al., 2012).

Araújo et al (2012) comentam que é difícil conceituar a qualidade do solo, pois não há uma padronização que possibilite regulamentar os seus parâmetros de análise, transformando o processo de avaliação da qualidade do solo uma tarefa consideravelmente árdua, pois a mesma depende de propriedades intrínsecas do solo, das interações com o ecossistema e ainda, além de suas prioridades de uso, que são influenciadas por aspectos socioeconômicos e políticos

(Costa et al., 2006). Contudo, a maioria dos conceitos propostos atualmente define a qualidade do solo como a capacidade de este funcionar dentro dos limites de um ecossistema e interagir positivamente com o meio ambiente externo daquele ecossistema (Pezzarico et al., 2013; Cunha Neto et al., 2018).

Como todo serviço ecossistêmico, o solo necessita de um acompanhamento para avaliar a sua qualidade e desempenho de suas atividades. Guerra (2015) relata que ao contrário avaliação da qualidade da água ou da qualidade do ar, que possuem normas específicas que se encontram instituídas em legislação, não há nenhum método individual eficaz para estabelecer um índice de qualidade do solo. Assim, avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável tem se tornado um dos desafios atuais da pesquisa científica mundial.

Na avaliação da qualidade do solo são empregados os atributos passíveis de serem alterados pelo manejo, cujas alterações podem ser detectadas em uma escala de tempo que permita a sua avaliação. Araújo et al. (2012) constataram que a qualidade do solo não pode ser determinada diretamente por necessitar de um número considerável de variáveis, mas pode ser estimada levando-se em consideração os indicadores de qualidade do solo. Em relação à inserção de biomas nos processos produtivos, os índices de qualidade do solo são estabelecidos basicamente para a avaliação dos impactos ambientais incorporados a estes processos, sejam eles a agricultura intensiva ou extensiva.

Os indicadores de qualidade podem ser químicos, físicos e/ou biológicos. São fatores quantitativos e qualitativos que apresentam características como: facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo, onde se pode observar e mensurar alterações ocasionadas nos solos, geralmente acometidas pela interação do homem com o meio ambiente (Alvarenga et al., 2012; Silva et al., 2015).

Os indicadores devem ser também acessíveis aos diferentes usuários e aplicáveis em diversas condições de campo, de forma a possibilitar a escolha de práticas que minimizem os impactos, possibilitando o desenvolvimento de forma sustentável e a maximização da produtividade, sem comprometer os diversos fatores ecossistêmicos aos quais o solo está atrelado (Cherubin et al., 2015; Freitas et al., 2017).

3.3.1 Indicadores químicos de qualidade do solo

As condições químicas do solo têm influência direta na relação solo-planta. Assim, a avaliação das características químicas do solo torna-se um aparato extremamente necessário no que se diz respeito ao monitoramento da qualidade do solo, pois através desta pode-se conhecer

e identificar o real estado dos componentes químicos e consequentemente os parâmetros de fertilidade presentes em um determinado solo, possibilitando a orientação adequada sobre as condições e o potencial dos solos para a agricultura (Milindro et al., 2015)

Os indicadores químicos geralmente são agrupados em variáveis relacionadas a teores de matéria orgânica no solo, acidez, quantidade de nutrientes, elementos fitotóxicos e algumas relações de saturação. Expressar a disponibilidade de macro e micronutrientes essenciais e suas relações se faz necessário para que a qualidade do solo seja avaliada em função do seu manejo (Araújo et al., 2012).

Dentre os indicadores químicos, a matéria orgânica é considerada um dos principais, pois além da sua sensibilidade em função de alterações ocasionadas por sistemas de manejo, influencia significativamente em outros atributos do solo, tais como estabilidade de agregados, estrutura do solo, retenção de água, disponibilidade de nutrientes, CTC, dentre outros fatores (Lisboa et al. 2012). Trata-se de um sistema bastante complexo, onde há resíduos orgânicos das mais diversas naturezas em diferentes graus de decomposição.

Em sistemas onde práticas como a rotação de culturas, plantio direto e adubação verde são empregadas, tem-se uma melhor manutenção da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, reduzindo perdas dos nutrientes do solo que vão sendo gradativamente disponibilizados em solução, reduzindo o uso de adubos minerais e possibilitando um melhor desenvolvimento das culturas (Siqueira Neto et al., 2009; Mendonça et al., 2013; Amorim, 2017; Cunha Neto, 2018).

Nesse sentido, um dos parâmetros mais empregados na avaliação da qualidade química do solo é o estoque de C no solo. Signor et al. (2014) explicam que estas alterações na matéria orgânica do solo podem ser medidas por meio de mudanças no estoque de C no solo e nas suas frações químicas, físicas ou em combinações dessas.

Vale lembrar que capacidade de troca de cátions também é um ótimo indicador químico, pois é composta pela soma dos cátions trocáveis do solo (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , H^+ e Al^{+3}) que ficam retidos na superfície dos colóides do solo, ficando prontamente disponíveis para atender as necessidades nutricionais da planta, pois a adsorção desses cátions nas partículas de solo em equilíbrio com a solução do solo facilita a absorção desses nutrientes pela planta (EMBRAPA, 2013).

Aliada à CTC está a saturação por base (valor V%), que nada mais é do que a quantidade de bases trocáveis em relação à capacidade de troca de cátions determinada a pH 7, e quando se tem solos com baixos índices de saturação por bases significa que estes têm poucas cargas

negativas sendo saturadas pelos cátions trocáveis. Quantificar a saturação por bases do solo assim como os teores de outros nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas como fósforo, enxofre, nitrogênio, além dos teores de micronutrientes, é de suma importância para se intervir quando os índices não são satisfatórios (GUERRA, 2015; Guidoline, 2015; Milindro et al., 2015; Cunha Neto et al., 2018).

Dentre os nutrientes citados, vale mencionar o fósforo (P), elemento com pouca mobilidade encontrado em teores muito baixos na maior parte dos solos do Brasil, principalmente em áreas de cerrado (PEREIRA et al., 2010). Sua absorção pelas plantas depende do poder tampão do solo e limitações na disponibilidade desse elemento resultam em restrições ao desenvolvimento das plantas, causando prejuízos aos produtores (Zucarelli et al., 2011). Enquanto sistemas convencionais de manejo geralmente fazem suplementação de fósforo através da adubação mineral, sistemas conservacionistas não necessitam de tanta adição desse elemento no plantio, pois a contribuição da adubação verde através do uso de rotação de culturas, adição de matéria orgânica, dentre outros, acaba tendo uma função repositória desse elemento no solo. Isto, associado à redução do revolvimento, faz com que a liberação do P ocorra de acordo com a decomposição de resíduos de plantas e dejetos animais, o que combinado à competição dos ácidos orgânicos com o fósforo pelos sítios de adsorção, faz com que o teor de P disponível aumente na solução do solo (Camargo et al., 2010; Leite et al., 2013).

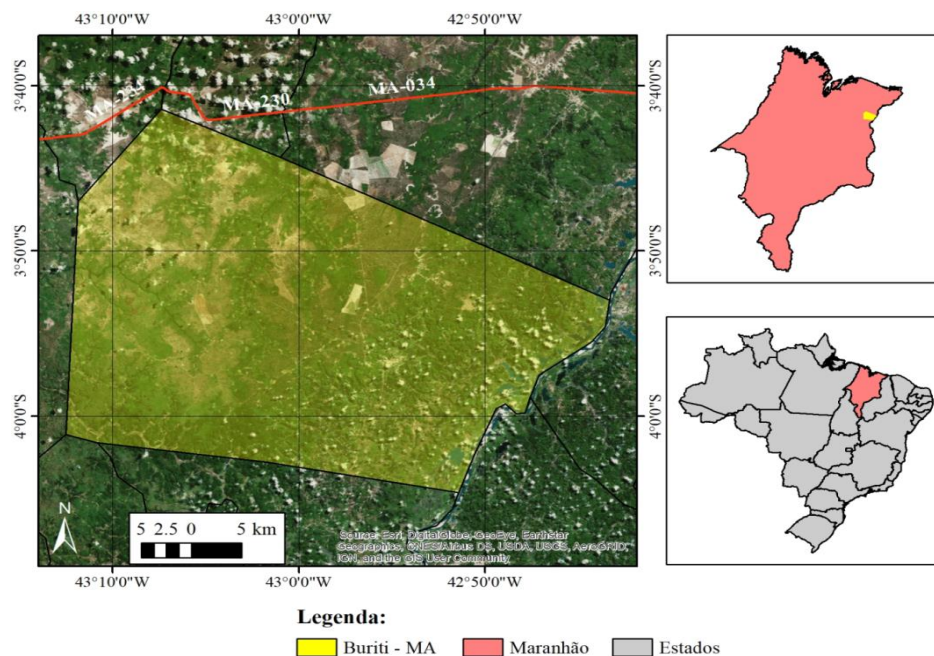
O pH também é um indicador químico indispensável, tendo em vista estar diretamente relacionado a muitos processos naturais que vão influenciar na disponibilidade de nutrientes para as plantas, pois determina a concentração e a forma iônica dos nutrientes presentes na solução do solo, assim como a sua absorção e aproveitamento pelas plantas, tornando-se uma das propriedades químicas do solo que mais afeta a produção agrícola (Araújo et al., 2012; Monteiro, 2012; Silva et al., 2015). Grande parte dos solos brasileiros é ácida e isso é um problema para o desenvolvimento da agricultura, haja vista que em condições de pH ácido há redução da disponibilidade de cátions como Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} e aumento da concentração de cátions fitotóxicos, como o Al^{+3} , o que afeta diretamente o crescimento radicular das plantas (Rampim & Lana, 2013; Freitas et al., 2015; Nolla et al., 2015; Freitas et al., 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O presente trabalho visa dar continuidade ao projeto de pesquisa que se iniciou em 2014 na Fazenda Tamboris, localizada no município de Buriti de Inácia Vaz, na microrregião de Chapadinha, região leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas geográficas: 42°43'15"

e 43°12'38" de longitude Oeste e 03°41'15" e 04°04'39" de latitude Sul, a cerca de 350 km de distância da capital São Luís. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw - tropical com estação seca, tendo temperatura anual média superior a 18°C e precipitação média anual de 1.800 mm (EMBRAPA, 1986). A vegetação local é do tipo cerrado subcaducifólio e o relevo é predominantemente plano de chapadas baixas. Geologicamente, o município de Buriti de Inácia Vaz é constituído pela Formação Itapecuru, do Cretáceo Superior e pelo Grupo Barreiras, do Terciário (MME, 1986).



Fonte: Silva Júnior, 2018.

Figura 1 - Localização do Município de Buriti no Estado do Maranhão.

O solo da Fazenda Tamboris é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoesó típico onde vêm sendo estudadas três áreas: uma com vegetação de cerrado nativo (CN); uma com cultivo de soja sob sistema de plantio direto (SPD); e outra com cultivo de soja sob sistema de preparo convencional (SPC) (**Figura 2**). Em nenhuma delas é feita irrigação.



Fonte: Silva, 2017.

Figura 2 - Áreas do estudo: (a) Cerrado nativo, (b) sistema de preparo convencional, (c) Sistema de plantio direto.

A área manejada com o sistema de plantio direto (SPD), hoje com quatro anos de implantação, antes se tratava de uma área submetida ao preparo convencional. No sistema atual de preparo da área – Plantio Direto, dependendo das condições climáticas, o plantio da soja (*Glycine max*), das cultivares Paragominas, Pampeana 333, Pampeana 20, Pampeana 10, ocorre entre os meses de janeiro e março, sendo a colheita entre os meses de maio e junho quando é semeado o milho (*Pennisetum glaucum*) para servir como adubo verde. Antes da semeadura da soja (após a dessecação do milho), a área recebe adubação nos sulcos de plantio com superfosfato simples (250 kg/ha) e cloreto de potássio (150 kg/ha), além de calagem superficial (sem incorporação ao solo), com calcário dolomítico PRNT 70% na quantidade de 1t/ha.

Já na área submetida ao sistema de preparo convencional (SPC), tem-se as mesmas recomendações de calagem e adubação do SPD, porém, há o uso do preparo do solo feito através de uma aração e uma gradagem com discos de 32 pol. (40 cm) e incorporação do calcário a 20cm de profundidade através do uso de grade niveladora.

As amostragens de solo, realizadas com o auxílio de um trado do tipo holandês (usado para coleta de amostras deformadas), ocorreram em dois períodos distintos, em novembro/2017 e junho/2018. Em cada uma das três áreas estudadas (CN, SPD e SPC) foram alocadas aleatoriamente 5 (cinco) unidades amostrais de 20 x 20 m, onde foram coletadas amostras em quatro diferentes profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm. As amostras simples de cada profundidade foram colocadas em baldes identificados, aonde se fez o destorroamento e homogeneização do solo. Em seguida transferiu-se cerca de 1 kg de cada uma das amostras para sacos etiquetados, constando a identificação da unidade amostral, profundidade amostrada e data. Ao fim da amostragem, para cada uma das três áreas (CN, SPD e SPC), obteve-se um total de cinco repetições para cada uma das profundidades para cada período avaliado.

Para a determinação dos estoques de carbono, em cada uma das áreas, cinco minitrincheiras foram abertas para a coleta de amostras indeformadas com anéis de Kopecky com 100cm³ de volume para determinação da densidade do solo nas mesmas profundidades utilizadas para a coleta de amostras deformadas. O estoque de carbono do solo foi determinado multiplicando-se o teor de C orgânico pela densidade do solo e espessura de cada camada.

Entretanto, solos submetidos a manejos diferentes apresentam, via de regra, densidades diferentes, o que implica na comparação de massas diferentes de solo quando se consideram camadas com a mesma espessura, como as utilizadas na amostragem feita no presente trabalho. Para comparar adequadamente os estoques de C entre as áreas, foi necessário fazer comparações entre massas iguais de solo, ajustando os valores das profundidades utilizadas nos cálculos (Ellert & Bettany, 1995). Esse ajuste, denominado de correção pela massa de solo equivalente, foi feito tomando a área de cerrado nativo como referência, por ser livre de interferência antrópica, e consistiu em encontrar um novo valor de profundidade para cada área, o qual foi usado no novo cálculo dos estoques de C, de modo que a nova profundidade representasse a mesma massa de solo em todas as áreas.

4.2 Análises Químicas

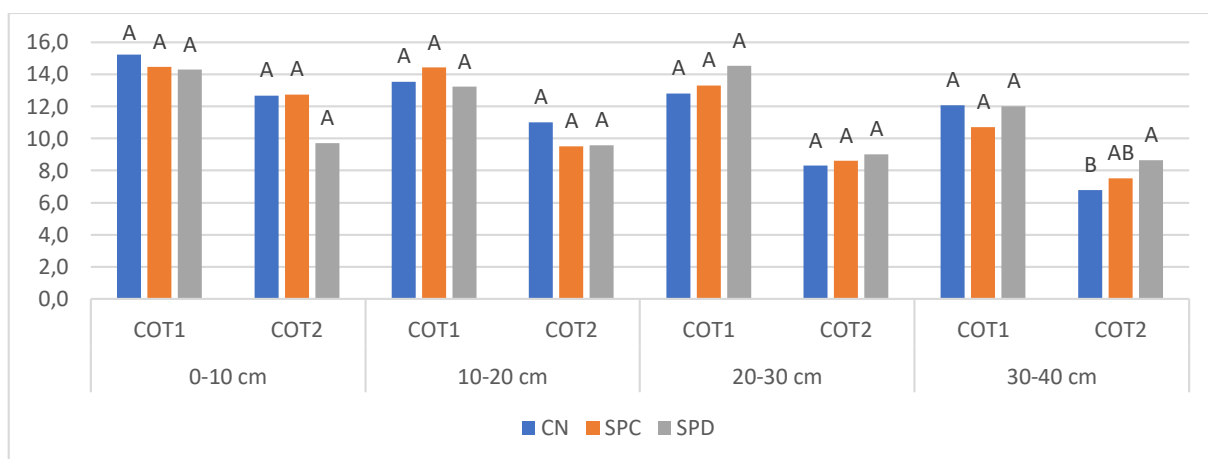
As amostras coletadas nos diferentes períodos seguiram para o laboratório de análises químicas de solo da UEMA, onde foram avaliados os seguintes atributos químicos: pH em H₂O, pela medição do potencial de forma eletrônica por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão sólido:líquido = 1:2,5; Cálcio e Magnésio trocáveis, usando solução extratora de KCl 1 mol L⁻¹; Potássio e Sódio trocáveis com o auxílio da solução extratora de Mehlich-1 (HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,0125N) e determinação por espectrofotometria de chama; Carbono Orgânico Total (M.O), através da oxidação da matéria orgânica com dicromato de Potássio em meio sulfúrico; Fósforo disponível com o uso de resina extratora; Alumínio trocável extraído com solução KCl 1N na proporção de 1:10 e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025N. Todos os processos citados seguem as metodologias descritas no Manual de métodos de Análise de solo (EMBRAPA, 2017). A partir dos resultados obtidos, foram calculados os seguintes parâmetros: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC T), percentagem de saturação por bases (V%), também seguindo as metodologias propostas no Manual de métodos de análise de solo.

4.3 Análise Estatística e Tabulação de Dados

Após o término das análises, os dados foram tabulados e interpretados através do programa estatístico SISVAR, onde os efeitos desejados foram avaliados pelo teste de comparação de média de Tukey ao nível de probabilidade de 5%. Os dados gerados nessas análises foram organizados em tabelas para cada período coletado (**Anexos A e B**) e posteriormente foram elaborados gráficos de acordo com os resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de médias, os valores médios de carbono orgânico total não variaram estatisticamente entre os diferentes usos avaliados nas quatro profundidades, nem durante a primeira coleta (novembro/2017), nem por ocasião da segunda coleta (junho/2018) (**Figura 3**).



⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 3 - Valores médios de Carbono Orgânico Total (COT) (em g kg⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017 (COT1) e em junho de 2018 (COT2) ⁽¹⁾.

O comportamento observado para o COT tende a ser o mesmo dos teores de matéria orgânica no solo, o que é justificado pelo fato de o carbono orgânico compor cerca de 58% da massa de matéria orgânica, explicando a relação entre ambos (Santos et al., 2017), por isso, optou-se expressar apenas os valores de um desses parâmetros neste trabalho.

A igualdade estatística entre o SPD e SPC e as respectivas profundidades corroboram com os dados gerados reportados por vários autores (Carneiro et al., 2009b; Schiavo et al.,

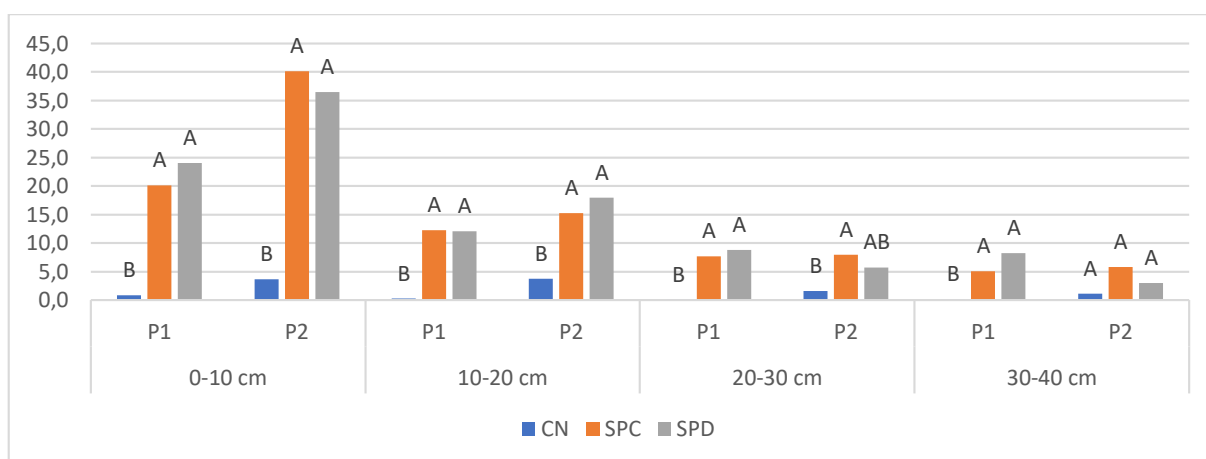
2011; Matias et al., 2012; Hickmann & Costa, 2012), onde sistemas de manejo de curta duração não expressam diferenças significativas dos teores carbono orgânico total. Resultados expressivos só são perceptíveis quando se tem um sistema de plantio direto estabilizado, geralmente com mais de 10 anos de duração (Siqueira Neto et al., 2009; Leite et al., 2010; Pereira et al., 2010; Loss et al., 2011; Loss et al., 2015). Com o passar dos anos, sistemas de plantio direto tendem a aumentar os teores de matéria orgânica em níveis consideráveis devido à deposição contínua de resíduos vegetais na superfície do solo, enquanto em sistemas onde há o revolvimento e preparo do solo ocorre a distribuição dos resíduos na camada arável, aumentando o contato solo-resíduo, proporcionando uma maior atividade microbiana e a decomposição dos resíduos, no entanto, o tempo para que essa estabilização ocorra varia de acordo com as condições edafoclimáticas da região (Andrade et al, 2012).

Além disso, no presente trabalho, observou-se haver rápida decomposição da palhada do milho utilizado em rotação com a soja para cobertura do solo no SPD, o que pode ter contribuído para a ausência de diferenças significativas entre a M.O. e o C.O. entre o SPC e o SPD.

Os valores médios encontrados no cerrado nativo se igualaram aos encontrados nas áreas de cultivo em relação ao COT, como reportado por diversos trabalhos (Campos et al., 2011; Cherubuin et al., 2015; Freitas et al., 2017), ao contrário do que se poderia esperar, haja vista a ausência de antropização na área de cerrado nativo. Entretanto, resultados semelhantes foram encontrados também por Carneiro et al. (2009), ao estudar as características químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico no cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo, que atribuíram tais resultados ao pouco tempo de adoção do sistema de plantio direto. Faria et al. (2010) corroboram com essa afirmativa quando relatam que na maioria das regiões florestadas, não há alteração significativa dos teores de carbono orgânico após a retirada da cobertura vegetal.

A única diferença estatística encontrada ocorreu na profundidade 30-40 cm por ocasião da segunda coleta (Figura 4), onde os valores mais altos foram encontrados no SPC. Campos et al. (2011) encontraram resultados semelhantes ao avaliarem o comportamento da matéria orgânica do solo em profundidade em um Latossolo Amarelo sob diferentes manejos, relatando que este evento pode ter ocorrido pelo fato de haver a incorporação de matéria orgânica em profundidade devido ao preparo do solo, transportando-a para camadas abaixo da região arável do solo.

Considerando os valores médios de fósforo (**Figura 4**), observou-se que, conforme já esperado e reportado por diversos autores (Leite et al., 2013; Cherubin et al., 2015; Freitas et al., 2017), as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de fósforo em relação ao Cerrado nativo, tendo em vista que as mesmas recebem adubações fosfatadas sucessivas. Não foram observadas diferenças estatísticas entre SPD e SPC em nenhuma das profundidades avaliadas, e estes foram significativamente maiores do que a média de CN, exceto na profundidade 30-40 cm, onde os valores das três áreas se igualaram (Figura 4). De acordo com Lima et al. (2013), os teores de fósforo das camadas subsuperficiais do solo em sistemas agrícolas tende a se igualar devido à baixa mobilidade desse elemento, o que retarda a sua distribuição ao longo do perfil do solo.



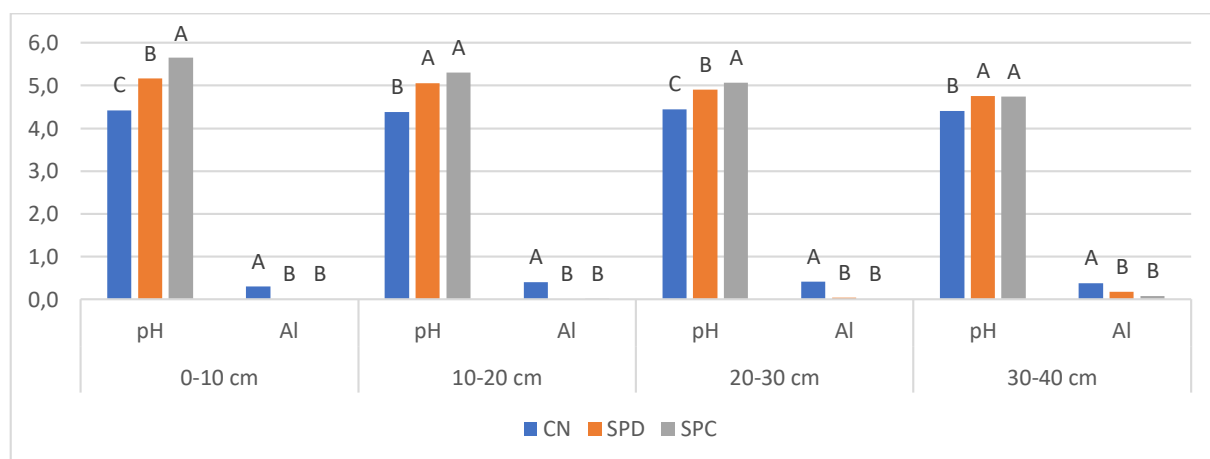
⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 4 - Valores médios de Fósforo disponível (P) (em mg kg⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017 (P1) e em junho de 2018 (P2) ⁽¹⁾.

Alguns trabalhos realizados em áreas com plantio direto de longa duração (Costa et al., 2006; Leite et al., 2010; Santos et al., 2017) obtiveram teores de P significativamente elevados em SPD quando comparados a diferentes manejos do solo. Para Matias et al. (2009), isto pode estar relacionado ao pouco revolvimento do solo existente no SPD, o que reduz o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato levando à diminuição do processo de adsorção, uma vez que os ácidos orgânicos gerados pela deposição dos resíduos vegetais competem com os íons fosfatos pelos sítios de adsorção, resultando em maiores teores de P na solução do solo.

Comparando os dois sistemas de manejo com o Cerrado em ambos os períodos (**Figura 4**), tem-se ideia de quão abrupta é a modificação dos teores de fósforo em áreas agrícolas em relação a áreas naturais em equilíbrio, corroborando as observações de Carneiro et al. (2009), que relatam um aumento expressivo de fósforo por conta do uso de adubações fosfatadas em um Latossolo do Cerrado. Costa et al. (2015) discutem bastante a questão da importância dos teores de fósforo para a agricultura e relatam que a implementação do plantio direto pode ser de extrema importância para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados a médio e longo prazo, pois devido à adição de matéria orgânica, tem-se uma maior disponibilização de fósforo para as plantas, possibilitando que os produtores possam reduzir consideravelmente os seus gastos com esses insumos.

Em relação aos valores médios de pH por ocasião da primeira coleta (**Figura 5**), observou-se que CN foi a área que demonstrou maior acidez em todas as profundidades, resultado dentro do esperado, uma vez que solos sob vegetação nativa não são sujeitos a técnicas de correção de acidez (Almeida et al., 2005) e que os solos do bioma Cerrado são naturalmente ácidos. Os maiores valores médios de pH foram encontrados nas áreas de cultivo (SPD e SPC), assemelhando-se aos resultados de Freitas et al. (2017), em um experimento onde foi avaliada a qualidade física e química de um solo sob diferentes usos.



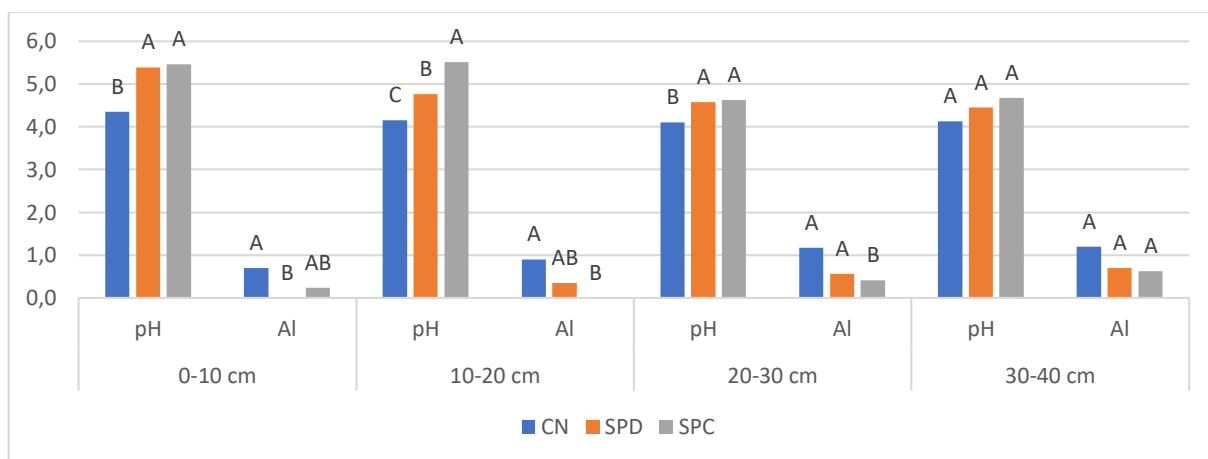
⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 5 - Valores médios de pH em H₂O e Alumínio trocável (em cmol_c kg⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾

Os maiores valores observados nas áreas cultivadas são decorrentes da calagem feita nos dois sistemas, utilizando 1 t/ha de calcário dolomítico. Vale ressaltar que o SPC apresentou

maior valor médio de pH na camada de 0-10 cm, resultado que difere do relatado por diversos outros autores (Leite et al., 2010; Lourente et al., 2011; Amorim, 2017), que constataram que o pH do SPD é mais alto na camada de 0-10 cm por conta da não incorporação do calcário ao solo.

Já na segunda coleta (**Figura 6**), os valores de pH das áreas cultivadas não diferiram na primeira profundidade (0-10 cm), enquanto que na profundidade de 10-20 cm o SPC se sobressaiu em relação às outras áreas, com média de 5,5, que demonstra que a incorporação de calcário em profundidade foi efetiva para a redução da acidez. Na profundidade de 20-30 cm os valores novamente se igualaram estatisticamente para as duas áreas de cultivo, enquanto na profundidade de 30-40 cm, o pH não diferiu estatisticamente entre as três áreas avaliadas. Tais resultados se assemelham aos obtidos por Matias et al. (2009), que verificam a tendência do pH das camadas mais profundas do solo em áreas de cultivo a se igualarem aos valores de áreas naturais, revelando que os efeitos da ação antrópica sobre alguns atributos do solo estão restritos às camadas mais superficiais.



⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

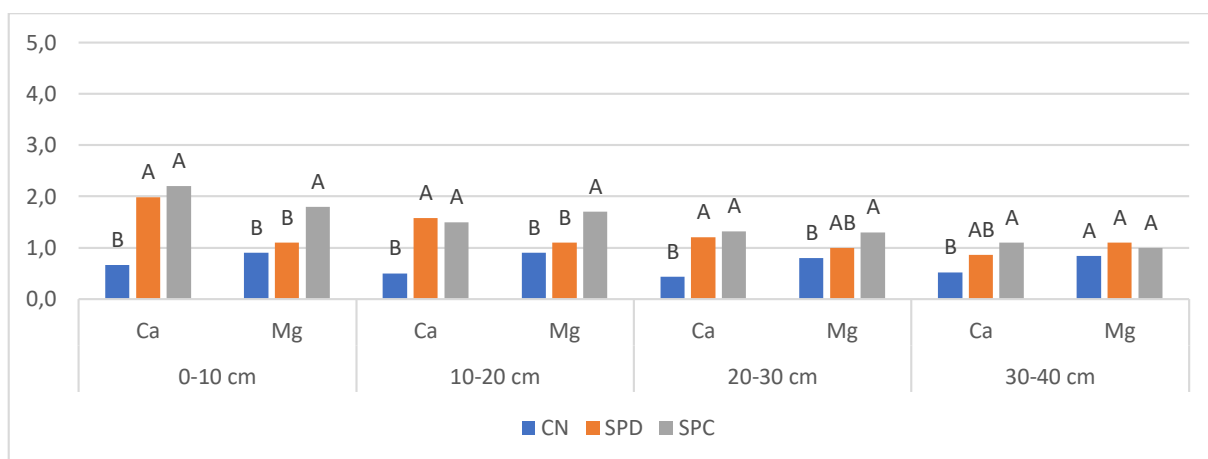
Figura 6 - Valores médios de pH em H₂O e Alumínio trocável (em cmol_c kg⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018 ⁽¹⁾.

Tendo conhecimento que os solos do cerrado são naturalmente ácidos e com presença de altos níveis de alumínio em solução, o que afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas (Echart & Molina, 2001; Rampim & Lana, 2013; Nolla et al., 2015), o estudo dos níveis de alumínio nos solos é de suma importância. No presente estudo, verifica-se

a neutralização do Al^{3+} trocável nas áreas de SPC e SPD em razão da correção do solo até a profundidade de 30 cm na primeira coleta (**Figura 5**).

Níveis médios a altos de alumínio trocável foram verificados durante a segunda coleta na área de CN, o que já era esperado em razão de que nesta não houve interferência antrópica. Observando-se a Figura 6, verifica-se na camada de 0-10 cm teores mais baixos de alumínio na área de SPD. Muito embora diversos autores já tenham reportado uma menor toxicidade do Al^{3+} no SPD associada com a complexação do elemento pela M.O., haja vista a M.O. promover a remoção do Al^{3+} da solução do solo e a formação de complexos com o carbono orgânico dissolvido (Azevedo et al., 2007; Iwata et al., 2012), no presente estudo, não é possível se fazer tal relação entre a M.O. e o alumínio, uma vez que os teores de M.O. entre as áreas de CN e SPD não diferiram entre si na camada de 0-10cm. Nas áreas de SPD e SPC houve aumento de alumínio na profundidade de 30-40 cm, em conformidade com a redução do valor de pH em água nessa mesma profundidade, corroborando os resultados reportados por diversos autores (Portugal et al., 2010; Freitas et al., 2017).

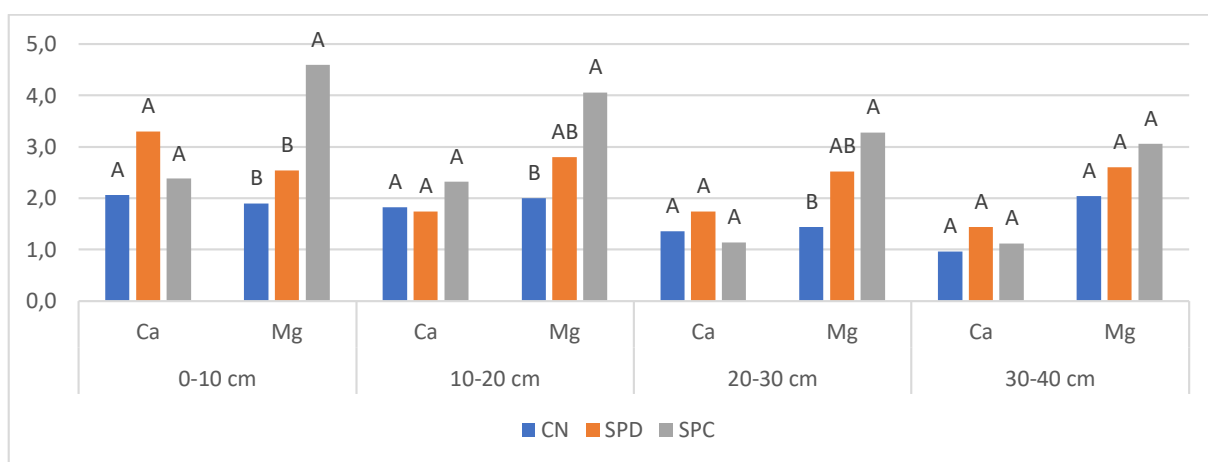
Sobre o cálcio, também não foram observadas diferenças significativas entre as áreas de SPD e SPC, tendo ambas sido superiores em relação aos valores registrados no CN em todas as profundidades durante a coleta realizada em novembro de 2017 (**Figura 7**), enquanto que na segunda coleta não foram registradas diferenças estatísticas entre nenhuma das áreas em todas as profundidades (**Figura 8**). Estes resultados contrariam a literatura consultada (Azevedo et al., 2007; Lourente et al., 2011; Andrade et al., 2012; Lima et al., 2013).



⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 7 - Valores médios de Cálcio e Magnésio (mmol kg^{-1}) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017.⁽¹⁾

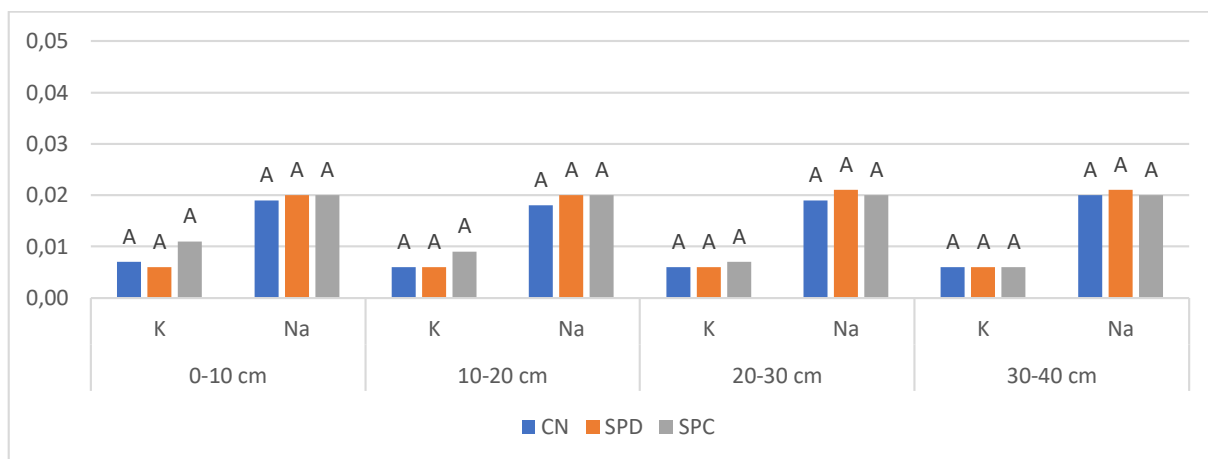
Os valores médios de magnésio tanto no período seco (novembro de 2017) quanto no chuvoso (junho de 2018) (Figuras 7 e 8) foram mais altos no SPC nas três primeiras profundidades, enquanto em CN e SPD esses valores não se diferenciaram significativamente. Esses dados causam estranhamento, pois geralmente os teores de Mg^{2+} seguem o comportamento dos teores de Ca^{2+} quando da utilização de calcário dolomítico para a correção do solo (Carneiro et al., 2009; Lima et al., 2013), porém, em um trabalho realizado por Mello et al. (2003) uma situação parecida foi encontrada, e esta pode ser justificada pelas características originais do solo e se levando em consideração o curto período de tempo da adoção do SPD nas duas situações.



⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 8 - Valores médios de Cálcio e Magnésio (em $cmol_c\ kg^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾

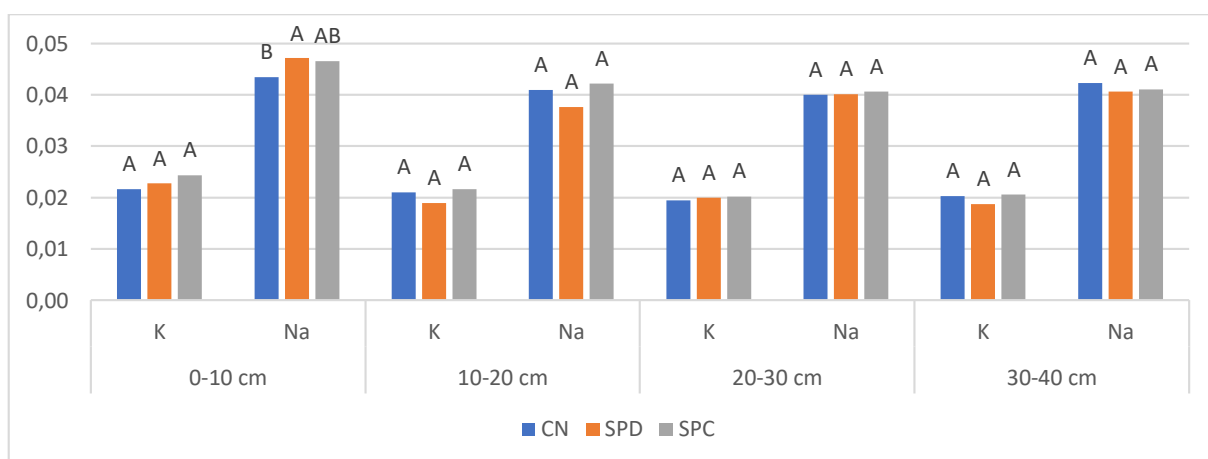
Tanto o potássio quanto o sódio não variaram estatisticamente entre sistemas de manejo e cerrado nas profundidades analisadas em nenhum dos períodos analisados (**Figuras 9 e 10**), assemelhando-se com os valores obtidos por Amorim (2017), mostrando que não houve variação desse elemento em três anos, médias que estão normais para solos em área de cerrado.



⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 9 - Valores médios de Potássio e Sódio (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾

Geralmente há maior concentração dos teores desses elementos em SPD quando o sistema é estável. Entretanto, a pouca contribuição dos resíduos orgânicos no sistema de plantio direto aqui avaliado, resultante tanto da rápida decomposição dos resíduos de milho bem como do pouco tempo de adoção do SPD, resultaram em ausência de diferenças significativas entre as diferentes áreas estudadas.

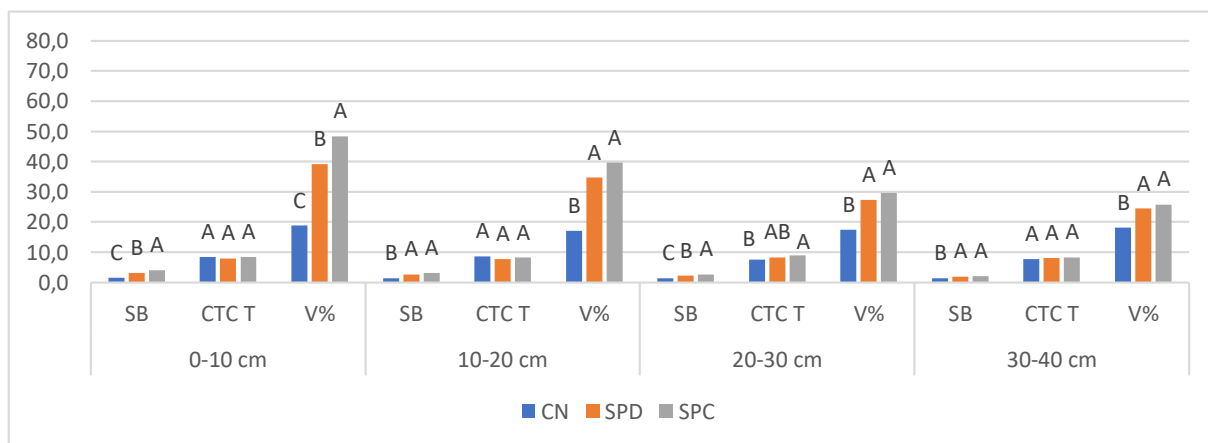


⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 10 - Valores médios de Potássio e Sódio (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾

Áreas com SPC tendem a apresentar, comumente, menores teores de potássio do que SPD, devido à exportação desse nutriente pelas plantas e à maior taxa de mineralização dos compostos orgânicos do solo, o que resulta em maiores perdas por lixiviação do potássio, reduzindo a eficiência do fertilizante e causando danos econômicos aos produtores (Faria et al., 2010; Andrade et al., 2012; Pedrotti et al., 2015).

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ juntos resultam na soma de bases (Valor SB). Os valores deste parâmetro em CN foi menor do que nas áreas cultivadas em todas as profundidades na coleta de novembro de 2017 (**Figura 11**) e nas três primeiras profundidades da coleta realizada em junho de 2018, onde na última se igualou aos valores de SPD e SPC que também foram baixos (**Figura 12**). Esses resultados são coerentes, tendo em vista que na área de CN não há perturbação antrópica, isto é, não há registros de correção e adubação do solo. O contrário se observa nas áreas de cultivo, nos diferentes manejos, onde estas variáveis são influenciadas devido às aplicações de calcário e fertilizantes (Freitas et al., 2015).

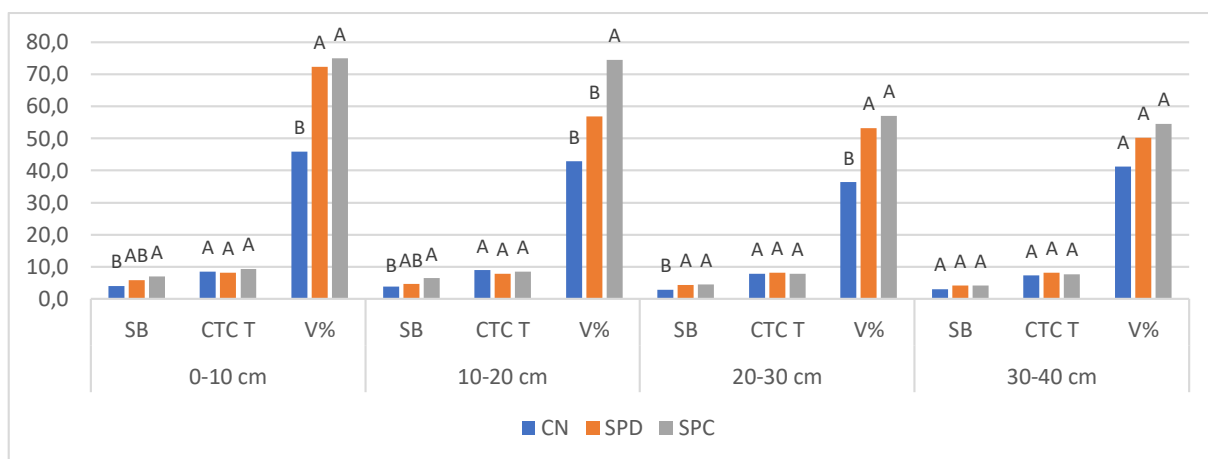


⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 11 - Valores médios da Soma de Bases trocáveis (SB) (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e Saturação por bases (V%) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾

Entre os sistemas de manejo em novembro de 2017, o SPC apresentou maior média de SB ($4,0 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$) na camada 0-10 e 20-30 cm, enquanto em 10-20 cm de profundidade esses valores não se diferenciaram, contrariando os resultados de Lourente et al. (2010), onde a comparação dos valores de soma de bases (dentre outros fatores) entre diferentes manejos e condições em solos do Cerrado demonstrou maiores médias em SPD, resultante da melhor

eficiência desse sistema em longa duração. Na segunda coleta, não houve diferença significativa em SPD e SPC em nenhuma das profundidades. Campos et al. (2011), estudando aspectos sazonais sobre os atributos químicos, verificaram diferenças bastante significativas entre os manejos, principalmente nos plantios diretos com 5 e 9 anos de duração.



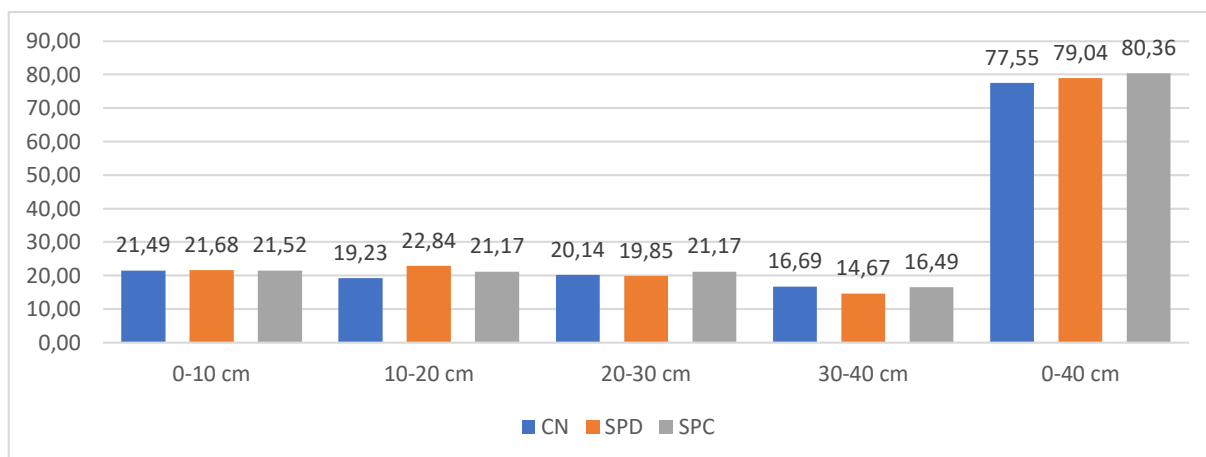
⁽¹⁾ Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 12 - Valores médios da Soma de Bases trocáveis (SB) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Saturação por bases (V%) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾

A CTC e a SB estão inteiramente relacionadas à saturação por bases, e pode-se ver na Figura 11 que o SPC apresenta um valor maior que o SPD na primeira profundidade, e nas demais os valores se comportam de maneira igual. Já no período chuvoso (Figura 12), os valores entre os sistemas de manejo não se diferenciaram na camada 0-10 e 20-30 cm. Dos 10-20 cm os valores de SPD e CN se igualaram, sendo SPC superior aos dois e na última profundidade os valores não variaram entre si.

Sobre o estoque de carbono (EC), verificou-se que o mesmo demonstrou o mesmo comportamento do COT, ou seja, não houve diferença significativa entre as áreas estudadas em nenhuma das épocas analisadas (**Figura 13 e 14**). Este fato contraria a literatura consultada (Leite et al., 2010; Rossi et al., 2012; Campos et al., 2013), onde se encontra diferenças significativas, de maneira que os valores médios de EC se sobressaem no SPD, devido à grande e contínua adição de matéria orgânica no mesmo.

Este resultado acaba indicando que o plantio direto na área estudada pode não estar sendo suficiente para suprir as demandas do solo por matéria orgânica, tornando necessário que se busque maneiras de aprimorar esse sistema de manejo, adaptando-o para a região, de modo que o sequestro de carbono seja melhorado, para que se tenha maiores incrementos de C no solo, fazendo com que níveis significativos sejam alcançados (Carneiro et al., 2013).

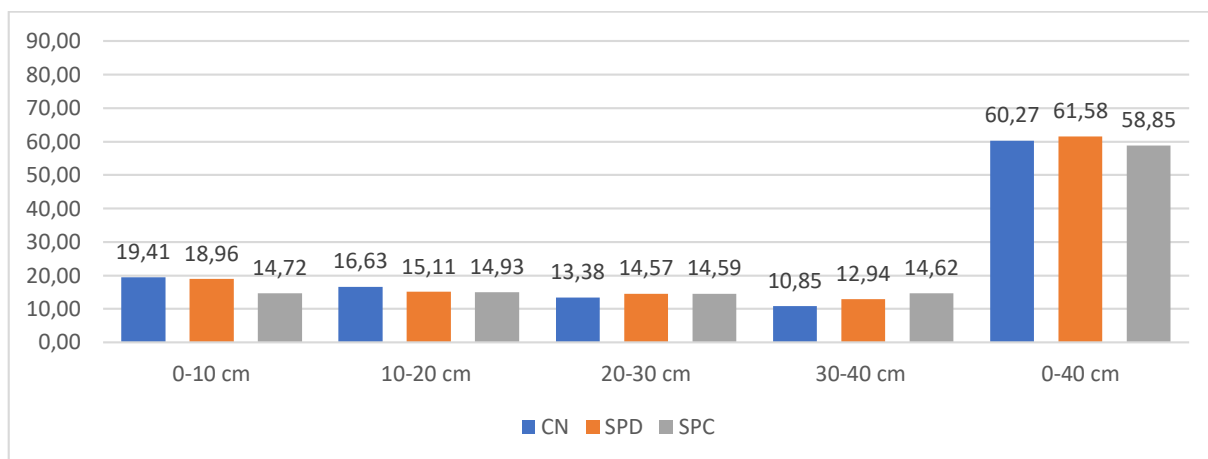


⁽¹⁾ A ausência de letras representa que não houve diferença no comparativo de médias pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 13 - Valores médios e somatório do Estoque de Carbono (EC) (em Mg C. ha⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em novembro de 2017. ⁽¹⁾

Rossetti & Centurion (2015) falam que como os solos do Cerrado são tipicamente tropicais, para que o SPD se sobressaia em relação ao SPC no sequestro de carbono, deve-se atentar principalmente para o tipo e diversidade das espécies empregadas na cobertura, pois este fator torna-se mais importante do que só converter uma área de SPC em SPD.

Siqueira Neto et al. (2010) relatam que quanto maior do tempo de implantação do SPD em uma área, os seus valores médios de EC ficam semelhantes ao que é encontrado em ambientes naturais equilibrados, porém, Azevedo et al. (2007) constaram que no Cerrado leste maranhense esses teores de EC em SPD podem superar os de CN, devido à baixa produção de biomassa existente por parte da vegetação encontrada na região.



⁽¹⁾ A ausência de letras representa que não houve diferença no comparativo de médias pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figura 14 - Valores médios e somatório do Estoque de Carbono (EC) (em Mg C. ha⁻¹) nas áreas de cerrado nativo (CN) e em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) cultivados com soja, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, com amostras retiradas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em junho de 2018. ⁽¹⁾

É amplamente difundido que o plantio direto melhora a qualidade química do solo, sobretudo pelo incremento da matéria orgânica do solo em razão da adição de restos culturais. Entretanto, no presente estudo, não foram observados tais resultados, o que pode resultar do pouco tempo de adoção do sistema, bem como da rápida decomposição dos resíduos da cultura do milho. Isso acontece devido à alta temperatura e umidade presente nas regiões tropicais que limitam o acúmulo de MOS nos mesmos moldes daqueles observados no Sul do País. Para sanar essa deficiência, vários autores têm verificado o benefício da implementação de espécies com baixa relação C/N como gramíneas forrageiras (Araújo et al., 2007; Leite et al., 2013), tanto como sucessão de culturas quanto em consórcio, pois melhoram o aporte de matéria orgânica e consequentemente aumentam os teores de COT, o que promove uma melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions.

Parâmetros que avaliam os atributos químicos do solo e suas relações, tais como os que foram analisados neste trabalho, são de extrema importância para avaliar a qualidade do solo entre diferentes sistemas de manejo, a fim de verificar os níveis de degradação de solos sujeitos à antropização, propondo melhores alternativas de manejo com o propósito de reduzir e/ou evitar esses danos, promovendo o uso sustentável dos recursos ambientais. Deve-se acompanhar o desenvolvimento do SPD da área estudada, pois como é possível verificar-se nas literaturas citadas, o plantio direto traz vários benefícios aos sistemas agrícolas, porém, há um certo período de adequação do agroecossistema para que isso ocorra.

6 CONCLUSÕES

Os atributos químicos mais passíveis a alteração neste trabalho foram o pH, Al^{3+} , Ca e Mg trocáveis, soma de bases e saturação por bases, notando-se grandes modificações nestes indicadores nos sistemas agrícolas quando comparados ao cerrado nativo.

Os teores de COT, assim como os de EC não diferiram nas áreas estudadas, tornando necessário rever as espécies e o manejo empregado para SPD, a fim de aprimorar esse sistema da melhor maneira possível para a região.

O SPC apresentou melhores valores para pH e V%, devido à incorporação do calcário e adubos até 20 cm de profundidade.

O curto período de implantação do SPD aliado a qualidade da matéria orgânica depositada como cobertura fez com que este não demonstrasse resultados superiores em relação ao SPC, porém ambos demonstram o mesmo comportamento na maioria dos atributos avaliados.

É necessário acompanhar o desenvolvimento do SPD através do monitoramento da qualidade química do solo, para que intervenções sejam feitas a fim de melhorar os benefícios trazidos por esse sistema, tornando assim a sojicultura no leste maranhense mais rentável e sustentável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente trabalho foi possível perceber que os atributos químicos do solo devem ser melhorados nos sistemas cultivados, principalmente no plantio direto, que é o sistema mais racional tendo em vista a fragilidade dos solos do leste maranhense, para que se tenha um melhor aproveitamento dos nutrientes, reduzindo os gastos e aumentando a produtividade para o cultivo da soja.

Um dos fatores onde tem-se necessidade de intervir é na qualidade da cobertura utilizada, pois o milheto, neste caso, não exerce grande contribuição para o acúmulo de matéria orgânica, sendo necessário a implementação de espécies como plantas forrageiras, que tem menor taxa de decomposição, permanecendo no sistema por mais tempo, e consequentemente, permitem o acúmulo de nutrientes.

Outro fator importante é o uso do gesso agrícola, que aliado a calagem, permite a elevação do pH do solo em níveis adequados para cultura e ao mesmo tempo proporciona uma maior deposição de cálcio no solo, permitindo um maior crescimento radicular e consequentemente o aumento da região de absorção da planta.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 29, n. 3, p. 437-445, 2005.
- ALVARENGA, C. C.; MELLO, C. R. de; MELLO, J. M. de; SILVA, A. M. da; CURI, N. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQS RA) na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, out./nov. 2012.
- AMORIM, F.C. **Indicadores químicos da qualidade dos solos sob diferentes sistemas de manejo em áreas de cerrado no município de Buriti (MA)**. 2016. 57f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.
- ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Revista Ciência Rural**, v. 42, n. 5, 2012.
- ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. D. P.; MONTANARI, R.; BASSO, F. C.; PARIZ, C. M.; AZENHA, M. V.; VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 40, n. 3, p. 520-526, mar. 2010.
- ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo no sistema de plantio direto**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1ªed. Viçosa: Soc. Bras. Ciênc. Solo, v.1, p. 873-928, 2007.
- ARATANI, R. G; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009.
- ARAÚJO, E.A. de; KER, J.C.; NEVES, J.C.L.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 5, n. 1, p. 187-206, jan./abr. 2012.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa - MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.
- AZEVEDO, D.M.P. de; LEITE, L.F.C.; TEIXEIRA NETO, M.L.; DANTAS, J.S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônoma**, Ceará, Brasil, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T.; GRIFFIS, T. J. Tillage and soil carbon sequestration-what do we really know? **Agriculture Ecosystem & Environment**, v.118, n.1, p.1-5, 2007.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 36, n. 1, p. 79-87, jan./fev. 2012.

- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. D. A. de C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza - CE, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2013.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Evolução recente do agronegócio no cerrado nordestino. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 23, n. 1, p. 166-195, 2015.
- CAIRES, E.F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba-SP: IPNI, p. 276-347, 2010.
- CALAÇA, M. TERRITORIALIZAÇÃO DO CAPITAL: Biotecnologia, Biodiversidade e seus impactos no Cerrado. **Ateliê Geográfico**, Goiânia - GO, v. 4, n. 1, p. 06-23, fev. 2010.
- CAMARGO, M. S. de; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fósforo em solos de cerrado submetidos à calagem. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 26, n. 2, p. 187-194, mar./abr. 2010.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. de F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1681-1689, dez. 2011.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e funções de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.3, p.304-312, 2013.
- CARDOSO, E. L., NAVES SILVA, M. L., CURI, N., MARTINS FERREIRA, M., & FRANÇA DE FREITAS, D. A. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.
- CARNEIRO, C. E. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J., AZEVEDO, M. C. B. de; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. da S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. de M.; STELMACHUK, T. L. da L.; GUIMARÃES, M. D. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina - PR, v. 30, n. 1, p. 5-10, jan./mar. 2009 B.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; PAULINO, H. B.; SALES, L. E. de O.; VILELA, L. A. F. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, 1857-1868, 2013.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. de; REIS, E.F. dos; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M.T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.W.; SILVA, R.F. da; SILVA, V.R. da; BASSO, C.J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil. v. 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006

COSTA, M. S. D. M.; PIVETTA, L. A.; COSTA, L. A. D. M.; PIVETTA, L. G.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 8, 2011.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.852-863, 2015.

CUNHA NETO, F. V. da; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. dos S.; ABEL, E. L da S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria - RS, v. 28, n. 1, p. 13-24, jan./mar. 2018.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F., FERREIRA, E. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 16, n. 1, p. 56-63, nov. 2012.

CUNHA, E. Q. da; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E.P. de B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.589-602, 2011.

DURIGAN, G. Cerrado: o trade-off entre a conservação e o desenvolvimento. **Parcerias Estratégicas**, v. 15, n. 31, p. 243-251, 2012.

ECHART, C. L; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.3, p. 531-541, 2001.

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

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 1986. v. 1 e 2.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 353 p. 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed rev. e amp. Brasília DF: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

FARIA, A. F. G. D.; SANTOS, A. C. D.; SANTOS, T. M. D.; BATISTELLA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do rio Araguaia, Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa - MG, v.

34, p. 517-524, fev./mar. 2010.

FARIAS, G. M. de; ZAMBERLAN, C. O. EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA: IMPACTO DAS POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 2, n. 2, p. 56-58, jul./dez. 2013.

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. O cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 3, n. 7, p. 19-37, out./nov. 2011.

FRANCISCO, E. A. B.; KAPPES, C. Cerrado brasileiro carece de mais investimentos em práticas sustentáveis. **Revista Visão Agrícola**, São Paulo, n. 10, p. 55-57, jan./abr. 2012. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA10-visao-setorial04.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

FREDERICO, S. Modernização da agricultura e uso do território: a dialética entre o novo e o velho, o interno e o externo, o mercado e o Estado em áreas de Cerrado. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 34, p. 46-61, 2013.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A. de; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, V.M.R. de. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I.A. de; SILVA, L.S.; FRARE, J.C.V.; FILLA, V.A.; GOMES, R.P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **UNIMAR CIÊNCIAS**. Marília-SP, v. 26, n.1-2, p. 08-25, 2017.

GARCIA, J. R. **Trabalho rural – tendências em face das transformações em curso**. In: BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. da; NAVARRO, Z. (orgs.). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Embrapa Estudos e Capacitação (coedição com o Instituto de Economia da Unicamp), p. 501-531, 2014.

GUIDOLINE, J.F. **Atributos físicos e químicos de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso da terra (SUTs)**. 2015. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista -UNESP, Jaboticabal-SP, 2015.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 16, n. 10, p. 1055–1061, 2012.

IWATA, B. de F.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F.; NUNES, L.A.P.L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L.P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 16, n. 7, p. 730–738, 2012.

LEITE, L.F.C.; ARRUDA, F.P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S; HOLANDA NETO, M.R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande-PB, v. 12, n. 12, p. 1257–1263, 2013.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 12, p. 1273–1280, set. 2010.

- LIMA, J. S. de S.; SILVA, S. de A.; SILVA, J. M. da. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.
- LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.
- LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.S.; KOUCHER, L.P.; OLIVEIRA, R.A.; KURTZ, C.; LOVATO, P.E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.4, p.1212–1224, ago. 2015.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, out. 2011.
- LOURENTE, E.R.P.; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A.M.T.; GOMES, C.F.; GASPARINI, A.S.; NUNES, C.M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, Brasil, v. 41, n. 1, p. 20-28, jan./mar. 2011.
- MATIAS, M.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVAO, S. D. S. . Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza - CE, v. 40, n. 3, p. 356-362, jul./set. 2009.
- MATIAS, S. S.; CORREIA, M. A.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T. D.; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.
- MELLO, J.C.A.; VILLAS BÔAS, R.L.; LIMA, E.V.; CRUSCIOL, C.A.C.; BÜLL, L.T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, Brasil, v. 27, n. 3, p. 553-561, 2003.
- MILINDRO, I. F.; RODRIGUES, R. A.; SANTOS, M. K. A., SANTOS, V. B. dos. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O Bioma Cerrado**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- MME. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Mapa Geológico do Estado do Maranhão. 1986.
- MONTEIRO, J.F. **Avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo agrícola em ambiente tropical**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012.
- MORETI, D.; ALVES, M.C.; VALÉRIO FILHO, W.V.; CARVALHO, M. de P. e. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 31, p. 167-165, 2007.
- NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; CASTALDO, J.H; ALVES, E.O. da S.; MOTA NETO, L.V.

DA; SILVA, M.A.G. da; MUNIZ, A.S. Disponibilidade de nutrientes e fitotoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarana, v. 4, n. Especial, p. 1-16., jun. 2015.

PAPA, R. de A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, E. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 10.5216/pat. v41i4. 13234-10.5216/pat. v41i4. 13234, 2011.

PEDROTTI, A.; SILVA, T. O. DA; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO FILHO, R. N. DA; HOLANDA, F. S. R. Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. **MAGISTRA**, Cruz das Almas – BA, v. 27, n. 3/4, p. 292-305, jul./dez. 2017.

PEREIRA, A.A.; THOMAZ, E.L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia- MG, v. 16, n. 55, p. 186-194, set. 2015. **Disponível em:** <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. Brasília, p. 508-514, mai./mai. 2010.

PEREIRA, P.A.A.; MARTHA JR., G.B.; SANTANA, C.A.M.; ALVES, E. The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. **Agriculture & Food Security**, Heidelberg, v.1, n.4, doi:10.1186/2048-7010-1-4, 2012.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575 - 585, 2010.

QUEIROZ, F. A. de. Impactos da sojicultura de exportação sobre a biodiversidade do Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, 2009.

RAMPIM, L.; LANA, M. do C. Mecanismo de tolerância interna das plantas ao alumínio. **Colloquium Agrariae**, Paraná, v. 9, n. 2, p. 72-89, jul./dez. 2013.

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.252–258, 2015.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v.70, n. 3, p.622-630, 2011.

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P.; CALDAS M. B.; ROQUE C. G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 36–42, jan./mar. 2017.

SILVA, A. J. da; MONTEIRO, M. do S. L.; BARBOSA, E. L. **DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO BRASILEIRO: ações governamentais e problemas**

socioambientais. In.: VIII Simpósio Internacional de Geografia Agrária e IX Simpósio Nacional de Geografia Agrária., 2017, Curitiba - PR. **Anais...** Curitiba 2017.

SILVA, G. F. da; SANTOS, D; SILVA, A. P. da; SOUZA, J. M. de. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25-35, jul-set 2015.

SILVA, M. M. da; ALVES, M. C.; SOUSA, A. D. P.; FERNANDES, F. C. S. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, 2015.

SIGNOR, D.; ZANI, C.F.; PALADINI, A.A.; DEON, M.D.; CERRI, C.E.P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1402-1410, 2014

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. de P.; PICCOLO, M. de C.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 33, n. 4, p. 1013-1022, 2009.

STEFANOSKI, D. C., SANTOS, G. G., MARCHÃO, R. L., PETTER, F. A., PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-1309, 2013.

SUASSUNA, J. A salinidade de águas do Nordeste Semiarido. Disponível em: <www.fundaj.gov.br>. Acesso: 14 abr. de 2018.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 33, n. 4, p. 743-755, abr. 2009.

VIDAL, M. de F.; EVANGELISTA, F. R. Irrigação na área de atuação do Banco do Nordeste do Brasil, 2012. Disponível em: <www.senado.gov.br>. Acesso: 5 mar. de 2018.

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; JUNIOR, E. U. R.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza - CE, v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.

ANEXOS

Anexo A - Atributos químicos de um Argissolo Amarelo nas áreas de cerrado nativo (CN), sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) no período seco. ⁽¹⁾

Manejo	pH H2O	MO	COT	P	Cátions trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						SB	CTC	V %
		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	cmol _c kg ⁻¹		
Profundidade 00-10 cm													
CN1	4,4 C	26,2	15,2	0,8 B	0,01	0,7 B	0,9 B	0,02	0,3 A	6,6	1,6 C	8,5	19 C
SPD1	5,2 B	24,9	14,5	20,1 A	0,01	2,0 A	1,1 B	0,02	0,0 B	4,9	3,1 B	8,0	39 B
SPC1	5,7 A	24,6	14,3	24,1 A	0,01	2,2 A	1,8 A	0,02	0,0 B	4,4	4,0 A	8,4	48 A
Profundidade 10-20 cm													
CN1	4,4 B	23,3	13,5	0,3 B	0,01	0,5 B	0,9 B	0,02	0,4 A	6,8	1,5 B	8,7	17 B
SPD1	5,1 A	24,8	14,4	12,3 A	0,01	1,6 A	1,1 B	0,02	0,0 B	5,0	2,7 A	7,7	35 A
SPC1	5,3 A	22,8	13,2	12,0 A	0,01	1,5 A	1,7 A	0,02	0,0 B	5,0	3,2 A	8,2	40 A
Profundidade 20-30 cm													
CN1	4,4 C	22,1	12,8	0,0 B	0,01	0,4 B	0,8 B	0,02	0,4 A	5,9	1,3 C	7,6 B	17 B
SPD1	4,9 B	22,9	13,3	7,7 A	0,01	1,2 A	1,0 AB	0,02	0,0 B	6,0	2,2 B	8,2 AB	27 A
SPC1	5,1 A	25,1	14,5	8,8 A	0,01	1,3 A	1,3 A	0,02	0,0 B	6,3	2,7 A	9,0 A	29 A
Profundidade 30-40 cm													
CN1	4,4 B	20,8	12,1	0,1	0,01	0,5 B	0,8	0,02	0,4 A	5,9	1,4 B	7,7	18 B
SPD1	4,8 A	18,4	10,7	5,1	0,01	0,9 AB	1,1	0,02	0,2 B	6,0	2,0 A	8,2	24 A
SPC1	4,7 A	20,7	12,0	8,3	0,01	1,1 A	1,0	0,02	0,1 B	6,1	2,1 A	8,3	26 A

(1) Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). O **H⁺** não foi analisado isoladamente, sendo apenas composição da CTC T, portanto não foi submetido a análise de variância.

Anexo B - Atributos químicos de um Argissolo Amarelo nas áreas de cerrado nativo (CN), sistema de plantio direto (SPD) e sistema de preparo convencional (SPC) no período chuvoso.⁽¹⁾

Manejo	pH H2O	MO	COT	P	Cátions trocáveis (cmolc kg ⁻¹)						SB	CTC T	V %
		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	cmolc kg ⁻¹		
Profundidade 00-10 cm													
CN2	4,3 B	21,9	12,7	3,7 B	0,02	2,1	1,9 B	0,04 B	3,8	3,8	4,0 B	8,5	46 B
SPD2	5,4 A	22,0	12,7	40,1 A	0,02	3,3	2,5 B	0,05 A	2,2	2,2	5,9 AB	8,1	72 A
SPC2	5,5 A	16,8	9,7	36,5 A	0,02	2,4	4,6 A	0,05 AB	2,0	2,0	7,1 A	9,3	75 A
Profundidade 10-20 cm													
CN2	4,1 C	19,0	11,0	3,7 B	0,02	1,8	2,0 B	0,04	4,2	4,2	3,9 B	9,0	43 B
SPD2	4,8 B	16,4	9,5	15,2 A	0,02	1,7	2,8 AB	0,04	2,9	2,9	4,6 AB	7,9	57 B
SPC2	5,5 A	16,5	9,6	17,9 A	0,02	2,3	4,1 A	0,04	2,2	2,2	6,4 A	8,6	75 A
Profundidade 20-30 cm													
CN2	4,1 B	14,3	8,3	1,6 B	0,02	1,4	1,4 B	0,04	3,7	3,7	2,9 B	7,8	36 B
SPD2	4,6 A	14,9	8,6	8,0 A	0,02	1,7	2,5 AB	0,04	3,2	3,2	4,3 A	8,1	53 A
SPC2	4,6 A	15,5	9,0	5,7 AB	0,02	1,1	3,3 A	0,04	2,9	2,9	4,5 A	7,8	57 A
Profundidade 30-40 cm													
CN2	4,1	11,7 B	6,8 B	1,1	0,02	1,0	2,0	0,04	3,0	3,0	3,1	7,3	41
SPD2	4,4	13,0 AB	7,5 AB	5,8	0,02	1,4	2,6	0,04	3,4	3,4	4,1	8,2	50
SPC2	4,7	14,9 A	8,7 A	3,0	0,02	1,1	3,1	0,04	2,9	2,9	4,2	7,7	55

(2) Letras maiúsculas representam o comparativo das médias entre as áreas avaliadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). O H⁺ não foi analisado isoladamente, sendo apenas composição da CTC T, portanto não foi submetido a análise de variância.