



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE - PPGAA**

GESLANNY OLIVEIRA SOUSA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DA
PASTAGEM EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA,
NA AMAZÔNIA MARANHENSE**

Balsas - MA
2020

GESLANNY OLIVEIRA SOUSA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DA
PASTAGEM EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA,
NA AMAZÔNIA MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Co-Orientador: Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza

Sousa, Geslanny Oliveira.

Alterações no solo em função da cronossequência da pastagem em integração lavoura – pecuária – floresta na Amazônia maranhense / Geslanny Oliveira Sousa. – São Luís, 2020.

68 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Antunes de Sousa.

1.Matéria orgânica. 2.Sistemas integrados. 3.Fertilidade do solo. 4.Porosidade. 5.*Urochloa brizantha*. I.Título

CDU: 633.2-145.2(812.1)

Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665

GESLANNY OLIVEIRA SOUSA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DA
PASTAGEM EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA,
NA AMAZÔNIA MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Co-Orientador: Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza

Aprovada em 29/05/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Orientador

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Prof.^a Dr.^a Marlen Barros e Silva
Membro 1

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Dr. Vinícius Ide Franzini
Membro 2

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

DEDICO ao meu filho, que fez eu me tornar uma pessoa melhor.

Para a Geslanny do futuro: Você fez o que pôde com os recursos que tinha.
Henrique Antunes

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e por ter me dado forças para continuar a batalha, ultrapassando todas as dificuldades impostas pela vida.

Uma dissertação não se desenvolve sem todo o envolvimento daqueles os quais convivo e convivi durante estes dois anos. Se cheguei até aqui, apenas o fiz pela ajuda, parceria e torcida de muitos amigos, colegas e companheiros de caminhada, aos alunos e pesquisadores que me antecederam e que contribuíram para este trabalho, ao grupo GINTEGRA, Embrapa Meio-Norte (pelo aprendizado e paciência de todos, em especial a Suzi, Sr Moreira e Sr Alfonso), ao programa de mestrado PPGAA e aos meus amigos de sala de aula (a turma mais unida na qual eu tive o prazer de participar), em especial aos meus orientadores Dr. Luciano e Dr. Henrique (que me adotaram, seguraram minha mão e me mostraram a direção, sem vocês eu não conseguiria).

Aos meus amigos e direção do IFTO – Campus Araguatins e UEMASUL, por me apoiarem nos momentos em que tive de me afastar das minhas obrigações trabalhistas, vocês contribuíram para o meu crescimento.

Ao Banco da Amazônia e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

A minha família, meus pais Gilberto e Dione, por acreditarem que um dia eu realizarei todos os meus objetivos, ao meu esposo Thiago por me aturar e me amar nesses dois longos anos, ao meu filho Guilherme por me fazer ser uma pessoa melhor, por me trazer de volta nos momentos que eu me perdia de mim mesma, eu realmente amo vocês.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O uso intensivo da terra tem acelerado a perda da qualidade do solo, processo que pode ser evitado pela adoção de sistemas conservacionistas de produção, como o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – ILPF. Objetivou-se com este trabalho mensurar os atributos físicos e químicos de um Plintossolo Argilúvico sob cronosequência de pastagens em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em Pindaré-Mirim no estado do Maranhão, Brasil. Para efeito de avaliação, o experimento contemplou dois ambientes de referência: capoeira com vegetação secundária em regeneração há aproximadamente 20 anos e mata nativa de babaçu com solos coletados antes do início do projeto; e cinco épocas de sucessão: pastagem degradada (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), e ILPF conduzidas nos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019, também comparadas aos ambientes de referência. Amostras indeformadas foram coletadas em minitrincheiras nas profundidades de: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm para determinação de atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total). Para os atributos químicos do solo (pH, matéria orgânica, fósforo, alumínio, acidez potencial, soma de bases trocáveis e saturação por bases), coletaram-se amostras deformadas nas mesmas profundidades. O teor e estoque de carbono foram mensurados em amostras coletadas até os 100 cm de profundidade, nas profundidades anteriormente mencionadas e acrescidas em 40 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm. Os dados obtidos foram analisados com auxílio de estatística descritiva, análise de variância e teste Tukey ao nível de 5% de significância, e análise de componentes principais e de agrupamento. A pastagem na ILPF 2017 apresentou os menores valores de macroporosidade e porosidade total em todas as profundidades estudadas, ao passo que a ILPF 2019 apresentou maiores valores de macroporosidade. Para as profundidades de 0 – 10, 10 – 20 e 30 – 40 cm, as variáveis fósforo e saturação por bases apresentaram maiores valores na ILPF 2018. A pastagem na ILPF 2017 apresentou dissimilaridade dos demais usos do solo, pelo ponto de vista de variáveis físicas do solo, enquanto a pastagem na ILPF 2018 foi pela melhoria química do solo. Os maiores valores de densidade do solo foram verificados nas áreas em que foram conduzidas ILPF. As concentrações de carbono foram superiores na camada superficial do solo de mata nativa, contudo, nas demais profundidades, valores mais expressivos foram verificados na área de pastagem da ILPF de 2018. O incremento no estoque de C acumulado (0 – 100 cm) em relação a mata nativa foi de 16% com o uso de pastagem na ILPF de 2018 após o consórcio milho-capim. A pastagem em ILPF de 2018 incrementou o estoque de C (0 – 100 cm) em 31% em relação a pastagem degradada (2016). O sistema ILPF promoveu um incremento nos atributos químicos do solo, sobretudo nas profundidades superficiais, com efeito gradativo ao longo da cronosequência. A substituição da pastagem degradada pelo sistema ILPF diminuiu a porosidade do solo, que foi abruptamente modificada após a lavoura de milho, contudo percebe-se um aumento da qualidade física com o estabelecimento da pastagem.

Palavras-Chave: Matéria orgânica. Sistemas Integrados. Fertilidade do solo. Porosidade. *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT

Intensive land use has accelerated the loss of soil quality, a process that can be avoided by adopting conservationist production systems, such as the Crop-Livestock-Forest Integration System - ILPF. The objective of this work was to measure the physical and chemical attributes of an Argilúvico Plintossolo under chronosequence of pastures in a crop-livestock-forest integration system in Pindaré-Mirim in the state of Maranhão, Brazil. For the purpose of evaluation, the experiment included two reference environments: capoeira with secondary vegetation regenerating for approximately 20 years and native babassu forest with soils collected before the project started; and five succession seasons: degraded pasture (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), and ILPF conducted in the years 2016, 2017, 2018 and 2019, also compared to the reference environments. Undisturbed samples were collected in mini-trenches at the depths of: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 and 30 - 40 cm to determine physical attributes (density, macroporosity, microporosity and total porosity). For the chemical attributes of the soil (pH, organic matter, phosphorus, aluminum, potential acidity, sum of exchangeable bases and base saturation), deformed samples were collected at the same depths. The carbon content and stock were measured in samples collected up to 100 cm in depth, in the depths previously mentioned and added in 40 - 60, 60 - 80 and 80 - 100 cm. The data obtained were analyzed with the aid of descriptive statistics, analysis of variance and Tukey test at the level of 5% significance, and analysis of main components and grouping. Pasture at ILPF 2017 showed the lowest values of macroporosity and total porosity in all depths studied, while ILPF 2019 showed the highest values of macroporosity. For the depths of 0 - 10, 10 - 20 and 30 - 40 cm, the variables phosphorus and base saturation showed higher values in the ILPF 2018.

Pasture at ILPF 2017 showed dissimilarity from other land uses, from the point of view of soil physics variables, while pasture at ILPF 2018 was for chemical soil improvement. The highest values of soil density were found in the areas where ILPF was conducted. The carbon concentrations were higher in the superficial layer of native forest soil, however, in the other depths, more expressive values were verified in the ILPF pasture area of 2018. The increase in the accumulated C stock (0 - 100 cm) in relation to native forest was 16% with pasture use at the 2018 ILPF after the corn-grass consortium. ILPF pasture in 2018 increased the C stock (0 - 100 cm) by 31% compared to degraded pasture (2016). The ILPF system promoted an increase in the chemical attributes of the soil, especially in the shallow depths, with a gradual effect over the chronosequence. The replacement of degraded pasture by the ILPF system reduced the soil porosity, which was abruptly modified after the corn crop, however an increase in physical quality is noticed with the establishment of the pasture.

Keywords: Organic matter. Integrated systems. Soil fertility. Porosity. *Urochloa brizantha*.

LISTA DE SIGLAS

Al - Alumínio

CAP - Capoeira

Ds - Densidade do solo

H+Al - Acidez potencial

MAC - Macroporosidade

MATA- Mata nativa

MIC - Microporosidade

MO - Matéria orgânica

P - Fósforo

PASTD - Pastagem degradada

pH - Potencial hidrogeniônico

PT - Porosidade total

PV- Peso vivo

SB - Soma de bases

V% - Saturação por bases

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com a distribuição dos biomas localizados no território maranhense.....	165
Figura 2. Levantamento bibliográfico relativo às publicações sobre a temática do sistema de ILPF sobre parâmetros físicos, químicos e carbono orgânico do solo na base de dados do Google Acadêmico (A autora, 2020)	276
Figura 3. Total e médias das publicações sobre a temática do sistema de ILPF sobre parâmetros físicos, químicos e carbono orgânico do solo na base de dados do Google Acadêmico (A autora, 2020).	287
Figura 4. Valores médios de densidade do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm). Pindaré-Mirim, MA (A autora, 2020).	42
Figura 5. Valores médios de macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC) e porosidade total (PT) em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Pindaré-Mirim, MA (A autora, 2020).	43
Figura 6. Biplot entre a relação de atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (A) 0-10 cm e (B) 10 – 20 cm. Pindaré-Mirim, MA. (A autora, 2020).	46
Figura 7. Biplot entre a relação de atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (C) 20 - 30 cm e (D) 30 – 40 cm. Pindaré-Mirim, MA. (A autora, 2020).	487
Figura 8. Dendrograma de dissimilaridade dos atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10 A, 10-20 B, 20-30 C e 30-40 D cm). Pindaré-Mirim. (A autora, 2020).	498
Figura 9. Valores médios de densidade do solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) (A autora, 2020).	598
Figura 10. Valores médios de teor de carbono em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) (A autora, 2020).	609
Figura 11. Valores médios de estoque de carbono no solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) (A autora, 2020).	61
Figura 12. Estoque de carbono acumulado no solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em camada do solo de 0-100 cm.....	643

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores médios atributos químicos do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Pindaré-Mirim,..... 44
- Tabela 2. Coeficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) de atributos físicos e químicos do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Pindaré-Mirim, MA..... 45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Amazônia Maranhense	16
3.2 Degradação das Pastagens e Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	18
3.3 Dinâmica de Carbono no Solo	20
3.4 Atributos Físicos do Solo e Alterações por Sistemas Integrados	22
3.5 Atributos Químicos do Solo e as Alterações por Sistemas Integrados	24
3.6 Panorama dos Estudos com Solos em Sistema ILPF	26
3.7 Referências	28
4. CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM CRONOSSEQUÊNCIA DE PASTAGEM EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA- FLORESTA.....	37
RESUMO.....	37
4.1 Introdução	38
4.2 Material e Métodos.....	39
4.3 Resultados	42
4.4 Discussão	49
4.5 Conclusão	51
4.6 REFERÊNCIAS	52
5. CAPÍTULO 2 - ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM PASTAGEM CULTIVADA EM ILPF NA AMAZÔNIA MARANHENSE.....	54
RESUMO.....	54
5.1 Introdução	55
5.2 Material e Métodos.....	56
5.3 Resultados e Discussão	59
5.4 Conclusão	65
5.5 Referências	65

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária- Floresta (ILPF) ou agrossilvipastoris são um conjunto de estratégias de produção que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, nas modalidades de consórcio, sucessão ou rotação que, em sinergia, contemplam a conservação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (BALBINO et al., 2011).

Em sistemas ILPF, fatores de produção como solo, água, trabalho humano, insumos e outros são altamente intensificados e utilizados em máxima potencialidade sem que haja prejuízo ao ambiente (TOWNSEND et al., 2009). Quando implantado em uma propriedade, esse sistema é capaz de promover a recuperação de áreas degradadas oriundas principalmente do manejo inadequado dos recursos pós-produção agrícola ou pecuária, além de recuperar ou reduzir as causas da degradação física e química do solo, resultantes do uso irregular (COSTA et al., 2011).

Dentre as vantagens, sistemas ILPF geram renda e boa produtividade para o produtor, melhoram o uso dos insumos, de maquinário e de mão-de-obra, além de diversificarem a produção e, assim, proporcionarem maior fluxo de receitas, que conferem flexibilidade frente ao risco agrícola e maior estabilidade ao sistema. Além disso, as forragens plantadas melhoram a ciclagem de nutrientes, auxiliam na conservação do solo e da água, e proporcionam maior eficiência no uso dos recursos ambientais (CORDEIRO et al., 2015). O componente florestal gera renda na forma de madeira ou energia, a pastagem se mantém verde por mais tempo e as árvores proporcionam uma maior ambiência no bem-estar animal (TRECENZI et al., 2008).

À luz de que atributos químicos e físicos são os principais reflexos da qualidade do solo, estudos que busquem esclarecer relações desses atributos com os componentes produtivos da cultura são de fundamental importância no momento da tomada de decisão das práticas de manejo do solo (MONTANARI et al., 2015), considerada, por muitos pesquisadores, a forma mais adequada de medir e monitorar o grau de conservação ou qualquer processo de degradação em curso (HAVLICEK, 2012; CARNEIRO et al., 2009) e, por isso, amplamente estudados em sistemas ILPF.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade de um Plintossolo Argilúvico sob cronossequência de pastagens conduzidas em um sistema ILPF, no município de Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, a partir da avaliação de atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) e químicos (pH, matéria orgânica, fósforo, alumínio, acidez potencial, soma de bases trocáveis e saturação por bases).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as alterações físicas e químicas no solo, em função da cronossequência de pastagens em integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia maranhense.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar as alterações exercidas sobre os componentes físicos e químicos (fertilidade) do solo, em função da cronossequência da pastagem, em sistema ILPF;
- Analisar as características físicas do solo: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade;
- Comparar o pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); P (fósforo); Al (alumínio); H+Al (acidez potencial); SB (soma de bases); V% (saturação por bases) em diferentes períodos;
- Calcular os teores de matéria orgânica do solo (MOS), e os estoques de C no solo em função da cronossequência da pastagem, em sistema ILPF.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Amazônia Maranhense

Em 06 de janeiro de 1953, por meio da Lei n.º 1.806, foi instituída a Amazônia Legal, que corresponde aos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e alguns dos municípios do Estado do Maranhão, num total de 5.217.423 km², equivalentes a 61% do território nacional (BRASIL, 1953). Rodrigues et al. (2012) consideram a floresta Amazônica como o maior reservatório de diversidade vegetal e animal do mundo. O bioma Amazônico desempenha inúmeros serviços ambientais que, em conjunto, têm papel vital na conservação da diversidade biológica, na regulação climática e nos ciclos biogeoquímicos (PERES et al., 2010).

Essas funções ecológicas, como a absorção e ciclagem de nutrientes, manutenção da qualidade do ar, da água e dos ciclos biogeoquímicos globais são comprometidas em grande escala pelo o aumento significativo do desmatamento na Amazônia legal, um fenômeno de natureza bastante complexa, que não pode ser atribuído a um único fator (ALENCAR et al., 2004). O estado do Maranhão encontra-se na transição entre o Nordeste e a região amazônica, dividido em quatro biomas: Costeiro, Cerrados, Amazônia e Caatinga. A Amazônia maranhense (Figura 1) é dada como a região localizada na parte ocidental do Maranhão, entre as coordenadas: 0°47'33" e 05°37'02" de latitude Sul e 43°37'54 e 48°53'05" de longitude Oeste (MARTINS e OLIVEIRA, 2011).

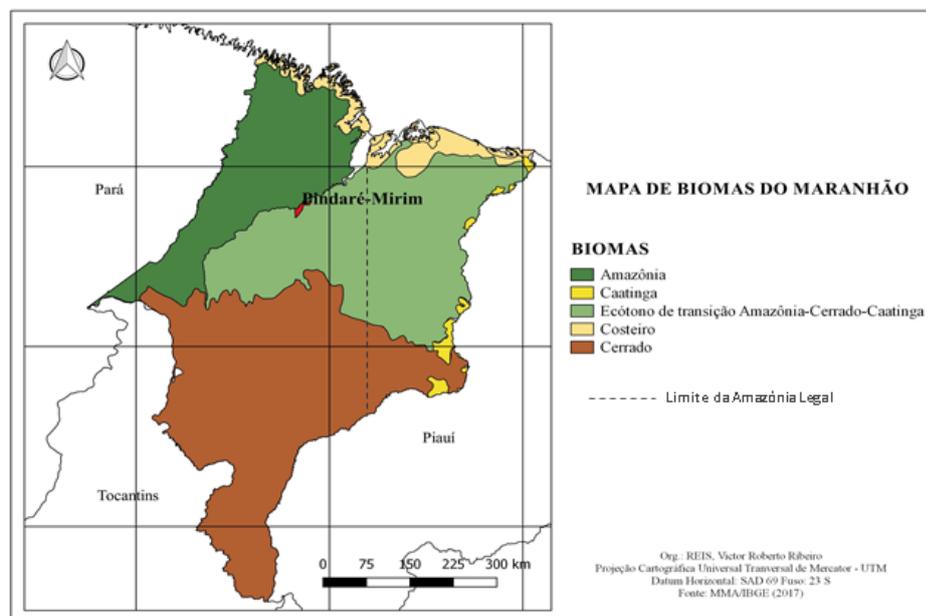


Figura 1. Mapa com a distribuição dos biomas localizados no território maranhense. Fonte: IBGE (2017).

Há anos, a Amazônia maranhense sofre desmatamentos, retirada ilegal de madeira, mineração, produção de carvão, caça excessiva e, principalmente, a criação de gado. Segundo a estimativa do desmatamento para o ano de 2019, publicada pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as taxas de cortes rasos na Amazônia brasileira aumentaram na ordem de 29,54% em comparação a 2018, que foi de 7.536 Km² (INPE, 2020).

A expansão das pastagens e áreas agrícolas, extração de madeira e a expansão da infraestrutura são as causas diretas do desmatamento na Amazônia (GEIST e LAMBIN, 2002). Dados do Projeto *Terra Class* (INPE; EMBRAPA, 2020) indicam que cerca de 62% da área desmatada da Amazônia brasileira no ano de 2014 foi utilizada como pastagens plantadas. Historicamente, o aumento das áreas com pastagens cultivadas na Amazônia pode ser explicado pela expansão da pecuária de corte desenvolvida rapidamente a partir de meados da década de 1960, com a abertura de rodovias, dentre as quais a Belém – Brasília (BR 010), e políticas públicas de incentivos fiscais para a produção de alimentos, que tornaram a região amazônica uma nova fronteira agrícola do país (DIAS-FILHO, 2014).

A conversão das florestas nativas em pastagens ou campos agrícolas é caracterizada, no Maranhão, pela abertura de clareiras por práticas de corte, derrubada e queima da vegetação, conhecida na região como “coivara” ou “agricultura de corte e queima”, realizada principalmente por agricultores familiares. Em áreas agrícolas maiores, o solo também pode ser preparado por uma gradagem de discos, incorporando-se calcário em quantidade suficiente para elevar a saturação de bases a 50% na camada de 0-20 cm e em seguida é usada uma grade leve (CARVALHO et al., 2009). Nesse modelo de sucessão, o fogo desempenha papel fundamental, a curto prazo, no aumento expressivos das quantidades de potássio, cálcio e magnésio, em razão da adição de cinzas ao solo (ARAÚJO et al., 2011).

Contudo, as queimadas na região amazônica são apontadas como a maior responsável pela emissão de GEE no Brasil. Davidson et al. (2008) comparando as emissões de gases de efeito estufa pelo solo entre sistemas tradicionais de corte e queima e roças sem queima (*mulching*), na Amazônia, concluiu que as emissões totais de gases de efeito estufa são, pelo menos, cinco vezes menores na roça sem queima. O processo de conversão da terra nos trópicos também é uma das maiores causas de perda de biodiversidade, com efeitos negativos tanto na diversidade de espécies e funcionalidade dos microrganismos do solo quanto na sustentabilidade da produção agrícola (FAO, 2020).

3.2 Degradação das Pastagens e Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Na pecuária brasileira, o sistema produtivo foi inserido de forma extrativista e exploratória, ou seja, inicialmente, a atividade buscava a expansão horizontal da produção. Para Borghi et al. (2018), devido à crescente necessidade de competitividade e de sustentabilidade do setor, muitos pecuaristas optaram por substituir esse modelo de expansão por uma estratégia direcionada ao melhoramento genético, através de cruzamentos entre raças europeias e zebuínas, mas isso nem sempre resultava em ganhos aceitáveis, uma vez que o planejamento alimentar do rebanho era ineficaz.

Desde então, a degradação das pastagens é o principal problema da cadeia produtiva de bovinos de corte e leite, ocupando 90% da área total das pastagens do nordeste brasileiro (DIAS-FILHO, 2014) e contribuindo para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEEs), como metano, óxido nitroso e dióxido de carbono. As perdas anuais com a exploração pecuária em pastagens degradadas podem superar US\$ 1 bilhão (BORGHI et al., 2018).

A degradação de pastagens é um processo caracterizado pelo declínio do vigor, da produção, da capacidade de retorno econômico e da qualidade das pastagens, assim como, pela dificuldade de superar a competição com pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados do solo e das pastagens (MACEDO; ARAÚJO, 2019). As principais causas da degradação são espécie ou local inadequados, má formação inicial, ausência ou mal uso de práticas de conservação do solo, correção da acidez e adubação inadequada, práticas culturais inadequadas com uso de fogo com rotina, ausência de adubação de manutenção, ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras, excesso de lotação e sistemas inadequado de pastejo (MACEDO; ZIMMER 2015).

Na Amazônia, Dias-Filho e Andrade (2006) estimam que metade das áreas cultivadas com pastagem estejam em algum nível de degradação ou abandonadas. As causas da degradação das pastagens são o uso sistemático de taxas de lotação que excedem a capacidade do pasto de se recuperar do pastejo e do pisoteio, a ausência de adubações periódicas, as falhas no estabelecimento da pastagem e os problemas bióticos, como o ataque de insetos-praga e, mais recentemente, a síndrome da morte do capim Marandu (DIAS-FILHO, 2011). Como consequência, Balbino et al. (2012) alertam para a baixa oferta de forragens, os baixos índices zootécnicos e a baixa produtividade de carne e leite por hectare, além de reduzido retorno econômico e ineficiência do sistema.

A partir da década de 1980, com o início do processo de degradação das pastagens estabelecidas nas décadas anteriores, a Embrapa e outras instituições de pesquisa iniciaram e

intensificaram o desenvolvimento de soluções e a transferência de tecnologias para recuperação dessas pastagens com os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), como o Sistema Barreirão (KLUTHCOUSKI et al., 1991) e o Sistema Santa Fé (KLUTHCOUSKI et al., 2000), que ficaram mais complexos, com a introdução do componente florestal, surgindo assim os chamados Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – ILPF (MACEDO, 2010; ALMEIDA, 2010). Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou agrossilvipastoris são um conjunto de estratégias de produção que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, em modalidades de consórcio, sucessão ou rotação, que em sinergia contemplam a conservação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (BALBINO et al., 2011a).

Nesse contexto, entende-se que os Sistemas ILPF foram desenvolvidos no Brasil, inicialmente, com o objetivo de recuperar ou renovar as pastagens em níveis de degradação acentuada, por meio da utilização mais eficiente de equipamentos, insumos e técnicas agrícolas em áreas onde a pecuária extensiva era predominante. Na agricultura, Macedo (2009) alega que a diversificação de sistemas produtivos se constituiu em uma alternativa às práticas culturais inadequadas na produção intensiva de monoculturas de pastagens e lavouras, que têm causado perdas de produtividade, surtos de pragas e doenças e a degradação dos solos e dos recursos naturais.

Portanto, as diferentes modalidades dos sistemas integrados podem contribuir significativamente para o estabelecimento de uma agropecuária dentro dos preceitos da sustentabilidade, pois contornam e corrigem os desequilíbrios impostos pelos sistemas simplificados de produção, cujo manejo dos solos e culturas não prioriza adequadamente o conservacionismo (BALBINO et al., 2011). Esses autores separam os sistemas integrados em quatro modalidades: 1) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Agropastoril, aquele que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; b) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Silvipastoril, aquele que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; c) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola, aquele que integra os componentes florestal e agrícola pela consórcio de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes) e; d) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

Diversos benefícios ambientais, em escala global e local, têm sido atribuídos a estes sistemas, como a conservação do solo e dos recursos hídricos, a promoção do sequestro de

carbono, a flexibilidade do fluxo de caixa ao longo do ano e o aumento da biodiversidade. Almeida (2010) divide os benefícios do sistema ILPF em quatro aspectos: técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Esse autor afirma que as lavouras anuais com ou sem forrageiras em consórcio, contribuem na amortização dos custos com a implantação do sistema e proporcionam o tempo necessário ao desenvolvimento das árvores, antes da entrada dos animais em pastejo, além disso, o efeito residual da adubação das lavouras beneficia o componente florestal e o forrageiro; o componente florestal, por sua vez, promove melhorias no bem-estar animal, na conservação da água e do solo, na reciclagem de nutrientes, no valor nutritivo da forragem e no suprimento de madeira; o componente pecuário se beneficia da melhor qualidade do ambiente da pastagem arborizada e tende a produzir mais por unidade animal; e a interação dos componentes propicia maior eficiência de uso dos recursos naturais, de insumos, de maquinário e de mão-de-obra, além da diversificação de produtos e maior fluxo de receitas que conferem flexibilidade frente ao risco agrícola e maior estabilidade ao sistema. Alguns estudos comprovam a eficiência econômica do sistema ILPF frente aos sistemas solteiros, como Rego et al. (2017), Muniz et al. (2017), Figueredo et al. (2014), entre outros.

3.3 Dinâmica de Carbono no Solo

O carbono possui circulação fechada e interconectada por cinco principais reservatórios: oceânico (38.000 Pg), geológico (4.130 Pg), pedológico (2.500 Pg), biótico (560 Pg) e atmosférico (760 Pg) (CARVALHO et al., 2010; LAL, 2008). Apesar de representarem os maiores reservatórios de C no globo terrestre, o carbono fixado nos oceanos, rochas sedimentares e combustíveis fósseis só retorna à atmosfera na escala de séculos e milênios, por meio de vulcanismo, erosão ou extração, conhecido assim como o ciclo lento do carbono (SILVA, 2005). Em contrapartida, o fluxo de C entre o solo, biosfera e a atmosfera formam o que se chama de ciclo rápido do carbono, responsável pelas mudanças climáticas (SILVA, 2005), conduzido principalmente por dois processos biológicos: a decomposição de resíduos orgânicos e a respiração de organismos e do sistema radicular das plantas (CARVALHO et al., 2010).

Estima-se que a quantidade de C estocado no solo até 30 cm de profundidade esteja em torno de 800 Pg, distribuídos nos continentes (CERRI et al., 2006), o que equivale a quantidade aproximada de C no reservatório atmosférico. Moreira e Siqueira (2006) afirmam que a concentração de CO₂ contida nos poros do solo é da ordem de 10 a 100 vezes a sua

concentração na atmosfera, devido em menor parte (20%) à respiração radicular e 80% à atividade biológica do solo.

A incorporação de C atmosférico aos tecidos vegetais ocorre pelo processo de fotossíntese. Parte deste C incorporado é convertido em fonte de energia pelas plantas ou posteriormente por animais, e retorna rapidamente à atmosfera. A outra parte pode ser depositada ao solo na forma de serrapilheira e gradualmente metabolizada por microrganismos (SIGNOR, 2013), formando compostos orgânicos de alta estabilidade que permanecem no solo por longo tempo.

A capacidade de armazenar matéria orgânica no solo varia de acordo com as características de cada tipo de solo, dos sistemas de cultura, do sistema de preparo de solo e das condições climáticas regionais, que favorecem ou retardam os processos de decomposição dos resíduos e de síntese e decomposição da matéria orgânica do solo (SANCHEZ, 1976). De acordo com Cerri et al. (2007), uma parte considerável do C orgânico total no solo encontra-se na forma de matéria orgânica. Contudo, o material orgânico no solo é facilmente decomposto, quando se realizam práticas de manejo com revolvimento de solo, causando agravamento no efeito estufa, devido à liberação de GEEs, como CO₂, CH₄ e N₂O.

Com o acúmulo de matéria orgânica no solo, há ativação de diversos processos que atuam na agregação do solo, no aumento da capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no sequestro de carbono atmosférico e na atividade biológica do solo (MIELNICZUK et al., 2003; MARTORANO et al, 2009; CARVALHO et al., 2010). Os organismos, por exemplo, com destaque aos microrganismos heterotróficos, obtêm energia para o seu desenvolvimento pela decomposição de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo, liberando CO₂ para atmosfera, nutrientes e uma gama de compostos orgânicos secundários oriundos do metabolismo microbiano, os quais passam a compor a matéria orgânica do solo (VEZZANI, 2001). Dependendo da magnitude do fluxo de carbono propiciado pelo subsistema vegetal, ocorrerá maior ou menor atividade biológica, produção de compostos orgânicos secundários, agregação do solo e aparecimento de outras propriedades emergentes do sistema solo. No geral, as propriedades emergentes do ciclo do C no solo (teor de matéria orgânica, agregação, porosidade, infiltração de água, retenção de água, aeração, CTC, balanço de N, dentre outras) melhoram a qualidade do solo (VEZZANI, 2001).

Pesquisas têm demonstrado acúmulos nos primeiros 40 cm de C no solo na ordem de 22,86 Mg à 94,60 Mg C ha em pastagens bem manejadas, variando conforme o tempo de formação do pasto (ROSENDO; ROSA, 2012; MASCARENHAS et al., 2017). Essa eficiência

das pastagens no acúmulo de C ocorre pela elevada entrada de biomassa no solo e a ausência do revolvimento do solo. Em ecossistemas de vegetação rasteira, como as pastagens, a morte das raízes representa a principal fonte de C para o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Cerri et al. (2006), analisando diversos estudos da literatura, mostraram que aproximadamente dois terços das pastagens analisadas na Amazônia exibiram incremento no estoque de C em solo em relação à vegetação nativa. Apesar da conversão de floresta para pastagem bem manejada resultar em aumentos do estoque de C do solo, é importante ressaltar a importância da vegetação nativa no que se refere ao sequestro de C no sistema solo-planta-atmosfera (CARVALHO et al., 2010). Estimativa realizada por Dias-Filho et al. (2001) demonstra que a conversão de floresta amazônica em pastagens pode emitir para atmosfera cerca de 100 a 200 Mg ha⁻¹ de C, em função do processo de desmatamento e queima da biomassa aérea.

A manutenção da qualidade do solo é um dos fatores-chave para se atingir a sustentabilidade de um sistema de produção, destacando-se o manejo empregado como o componente principal para a preservação da matéria orgânica (CAETANO et al., 2013), pois uma vez que a qualidade da matéria orgânica muda, a sustentabilidade do solo é afetada (LOSS, 2010).

Sistemas mais diversificados são importantes para repor e manter a matéria orgânica do solo (MOS) (ASSIS et al., 2015). Nesse sentido, a ILP aumenta as concentrações de carbono orgânico no solo, devido ao crescimento contínuo de vegetais na área e diferentes fontes de material orgânico, podendo ainda ser utilizada como indicadora da qualidade do solo (BALBINOT JR et al., 2009; LOSS et al., 2011; LOSS et al., 2012), pois, a matéria orgânica proporciona solos bem estruturados, o que favorece uma maior taxa de infiltração e a penetração das raízes no perfil do solo (FALEIRO et al., 2008). Os resultados também demonstram que o tipo de manejo e o consórcio de culturas com rotação influenciam diretamente na ocorrência de comunidades da fauna do solo, em sistemas integrados. indicando os sistemas de manejo com ILPF, ILP e o sistema plantio direto (SPD) com as melhores condições para o desenvolvimento dos organismos (FERREIRA, 2015; PORTILHO et al., 2013; PORTILHO et al., 2011).

3.4 Atributos Físicos do Solo e Alterações por Sistemas Integrados

O solo é um dos principais suportes da produção agrícola e o seu comportamento é regido por um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos, submetidos à ação do clima, que interagem e tendem ao equilíbrio (KLEIN et al., 2015). A manutenção da qualidade do solo é essencial para a sustentabilidade dos agroecossistemas, uma vez que este

desempenha um papel de destaque, porque é um parâmetro vital na produção (MOREIRA et al., 2018).

É fundamental fazer o monitoramento da qualidade do solo em especial as características físicas, que afetam processos importantes no sucesso de todo o sistema. Têm se utilizado muitos atributos físicos para quantificar as mudanças provocadas pelos diferentes manejos, tipo de cobertura vegetal, resíduos na superfície e teor de matéria orgânica do solo (WENDLING et al., 2012), dentre eles citam-se, a densidade e a porosidade total do solo, variáveis que possuem associação direta com a produtividade das culturas de modo a obter uma produção sustentável (BOTTEGA et al., 2011).

Existe uma grande variabilidade nos atributos devido à dinâmica causada pelos diversos fatores que compõem os sistemas integrados, tais como: máquinas, animais, árvores, entre outros que se integram em diferentes escalas espaço-temporais (MORAES et al., 2014). Algumas alterações nas propriedades físicas do solo devem-se a um conjunto de fatores como a textura do solo, altura e intensidade de pastejo, quantidade de resíduo vegetal da forragem e umidade do solo, que podem maximizar o efeito do pisoteio animal (MOREIRA et al., 2012). Vários atributos devem ser medidos para avaliar como o manejo influencia as características do solo, bem como sua relação com a planta (LOSS et al., 2017), cujos indicadores físicos mais utilizados são: composição granulométrica, densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração, infiltração, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica (ARAÚJO et al., 2012).

A utilização de sistemas integrados de produção é vista como uma alternativa que traz inúmeros benefícios do ponto de vista da melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumento da ciclagem e da eficiência de utilização dos nutrientes e ainda viabilidade na recuperação de áreas com pastagens degradadas (ALVARENGA et al., 2010). Os benefícios para a qualidade do solo fornecidos pelos sistemas integrados estão relacionados com a cobertura e o enriquecimento do solo, por meio da deposição de camada densa de material orgânico, estabelecida continuamente pela queda das folhas e ramos que alteram a ciclagem de nutrientes (BALBINO et al., 2011). Esta qualidade física do solo está associada com a capacidade que o mesmo possui em possibilitar o desenvolvimento das plantas sem que ocorra a sua degradação (LLANILLO et al., 2013).

Carvalho et al. (2016) e Sales et al. (2017) afirmam que os sistemas integrados melhoram a qualidade física do solo, ao aumentar a macroporosidade, em pastagens, e a microporosidade em todas as áreas e profundidades, além de diminuir a densidade do solo na camada superficial. Bono et al. (2012) ao avaliarem solo sob sistema ILP e monocultivo de

lavoura e pastagem, constataram que o manejo integrado apresentou velocidade de infiltração básica e acumulada de água no solo mais próximos dos observados na mata nativa. Outros resultados de atributos físicos do solo em sistemas integrados também corroboram com esses autores (SALES et al., 2017; ASSIS et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Alguns trabalhos têm avaliado a qualidade do solo em sistemas de integração e evidenciado os benefícios desses sistemas no uso da terra. Dentre eles destacam-se o trabalho feito por Marchão et al (2007), onde o sistema lavoura-pecuária apresentou maiores taxas de infiltração devido a três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo de pastejo, presença de um sistema radicular denso e aumento da atividade microbiana e da macrofauna do solo.

Por outro lado, alguns trabalhos demonstram efeito negativo desses sistemas para o solo, com destaque principal para o efeito do pisoteio animal que causa a compactação superficial do solo e reduz a infiltração. Porém, essa compactação depende do tipo de solo, do seu teor de umidade, da taxa de lotação animal, da massa de forragem, da espécie forrageira utilizada no sistema (MORAES et al., 2007; MARCHÃO et al., 2007). Foi observado por Marchão et al. (2007) que a compactação de solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, após 13 anos, não atingiu valores limitantes para o desenvolvimento das culturas. O mesmo foi observado por Spera et al. (2010), após oito anos de cultivo sob integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto, constatou que não houve degradação física do solo que comprometesse o desenvolvimento das plantas cultivadas na área estudada.

Vale destacar, que a observação dos efeitos sobre os atributos físicos do solo em sistema de ILPF podem demorar anos, quando comparado ao mesmo solo cultivado em sistema convencional (CARVALHO et al., 2016).

3.5 Atributos Químicos do Solo e as Alterações por Sistemas Integrados

Os atributos químicos assim como os físicos têm sido amplamente adotados para realização de inferências relativas à sustentabilidade de diferentes sistemas de uso e manejo, já que tais atributos apresentam potencial na detecção de alterações promovidas na qualidade do solo (CARVALHO et al., 2015). As alterações nos indicadores químicos são resultadas do desenvolvimento dos sistemas e ocorrem em função do tempo e da condução de cada sistema de uso e manejo do solo (MILINDRO et al., 2016).

Dentre os indicadores químicos de qualidade do solo estão a matéria orgânica, que se destaca por ser altamente sensível à alteração frente às práticas de manejo (REINERT et al.,

2006), o pH, capacidade de troca de cátions, teor de fósforo, potássio e magnésio, saturação de alumínio e por bases entre outros (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). De maneira geral, os atributos químicos são agrupados em variáveis relacionadas com o conteúdo da matéria orgânica do solo (MOS), acidez do solo, conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos e determinadas relações como a saturação por base e por alumínio (ARAÚJO et al., 2012). Segundo Carvalho et al. (2015), deve-se observar também as condições edafoclimáticas e as espécies utilizadas, porque elas influenciam significativamente na dinâmica dos nutrientes, sendo encontrados resultados distintos quanto à qualidade do solo sob sistemas integrados.

Vários estudos demonstram incrementos nos teores de nutrientes em sistemas de integração em diferentes regiões e tipos de solo (BEUTLER et al., 2016; BONINI et al., 2016; CARVALHO et al., 2015; MAIA et al., 2006; SANTOS et al., 2011b), geralmente, por dois motivos: pela rápida ciclagem de nutrientes no solo, disponibilizados na forma mineralizada por meio das fezes e urina (BALBINOT JR et al., 2009), e a eficiência no uso de fertilizantes, em função das diferentes necessidades das culturas em rotação (MACEDO, 2009). Além disso, de acordo com Costa et al. (2015), a maior deposição de resíduos vegetais na camada superficial do solo verificada nesses sistemas e posterior decomposição que favorecem o acúmulo de nutrientes no sistema, gerando, também, maior atividade biológica no ambiente.

Alguns trabalhos têm mostrado o aumento nos teores de P, K e matéria orgânica nos primeiros 10 cm de profundidade, e também relataram redução dos valores de pH (FREIRE et al., 2012; MACHADO et al., 2011; FREITAS et al., 2010). Meneses et al (2015) observaram que os solos sob sistema ILPF apresentaram valores superiores ao sistema tradicional para potássio, pH e saturação por bases, e superior aos demais para variável fósforo.

Iwata et al. (2012); Lima et al. (2011) e Maia et al. (2006) verificaram que o sistema ILPF promoveu melhorias nos indicadores químicos do solo como aumento do pH, redução da saturação por alumínio, aumento dos teores de nutrientes e maior estabilidade da qualidade química do solo sob efeito da sazonalidade. Por outro lado, em estudo realizado por Diel *et al.* (2014), em sistemas de cultivo exclusivos e de integração lavoura-pecuária-floresta constatou-se que os sistemas integrados de produção não proporcionaram mudanças acentuadas nos atributos químicos do solo. Isso pode ter acontecido devido ao curto período de implantação do sistema que neste estudo foi de apenas dois anos.

Dessa forma, a manutenção da qualidade do solo representa o fator primordial de uma agricultura sustentável (SALTON et al., 2015) e, a avaliação da sua qualidade possibilita a determinação de medidas adequadas de manejo visando à conservação do solo e melhorias nos rendimentos das culturas (MARZAIOLI et al., 2010), destacando-se com enorme versatilidade

a utilização dos sistemas integrados na construção da fertilidade do solo, na ciclagem de nutrientes (FERREIRA et al., 2018) e incremento dos estoques de C do solo e mitigação dos gases de efeito estufa (SÁ et al., 2017).

3.6 Panorama dos Estudos com Solos em Sistema ILPF

Avaliar a qualidade do solo é uma tarefa difícil, devido à complexidade do sistema solo-planta. A observação dos atributos físicos e químicos do solo é considerada, por muitos pesquisadores, a forma mais adequada de medir e monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (HAVLICEK, 2012).

Foi realizado um levantamento bibliográfico no portal de periódicos do Google Acadêmico, relativo às publicações sobre o sistema ILPF considerando como parâmetros os estudos sobre as análises físicas, químicas e de carbono orgânico do solo, entre os anos de 2015 a 2019.

Nos anos analisados ocorre um crescente avanço nas publicações sobre a análise química do solo, pois no ano de 2015 eram apenas 258, já em 2019 passou a ter 373. Os estudos das análises dos parâmetros químicos do solo em ILPF tiveram mais publicações se comparados com as análises dos atributos físicos do solo com uma diferença de 129 artigos entre os anos estudados (Figura 2). Os atributos químicos são bons indicadores do nível de degradação das pastagens. Atributos químicos do solo pH, Ca, Mg e H+Al apresentaram estreita relação com o manejo do solo (ROCHA-JUNIOR et al., 2011).

De acordo com estudos realizados por Carvalho et. al (2015), os sistemas de manejo e uso através da integração agricultura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo, quando comparados à vegetação nativa do cerrado.

Vale ressaltar que existem vários parâmetros físicos que podem ser estudados, e considerados como indicadores de degradação de pastagem, tais como densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, resistência a penetração, dentre outros, e posteriormente esses dados podem ser usados para auxiliar na recuperação de áreas degradadas (ASSIS et al., 2015). De forma geral, os dados mostram que esse é o segundo atributo mais estudado em pesquisas de solos com ILPF. No ano de 2019 tiveram 315 publicações, mostrando que houve um aumento considerável de publicações a respeito das análises físicas do solo se comparados com anos anteriores (Figura 2). O ano com menor índice de publicações foi 2015 com 223 trabalhos, o que demonstra que com o passar dos anos a

pesquisa vem se expandindo, a fim de trazer soluções sustentáveis para o produtor através dos resultados das pesquisas.

Entretanto, ao longo dos anos o carbono orgânico vem ganhando expressividade, passando de 187 trabalhos publicados em 2015 para 207 publicados em 2019 (Figura 2). A utilização de sistemas diversificados de produção ajuda a repor e manter a matéria orgânica do solo (MOS) (ASSIS et al., 2015). Segundo Faleiro et al. (2008), a matéria orgânica favorece a infiltração de água no solo e uma maior e melhor penetração das raízes no solo.

Segundo Mascarenhas et al. (2017), os maiores teores de carbono orgânico no solo são observados na camada superficial em função da maior deposição de matéria orgânica nessa região ocasionada pela decomposição dos resíduos culturais. 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. Brady e Weill (2013) afirmam que a matéria orgânica é o principal reservatório de C no solo. O que justifica o crescente aumento de publicações com esta temática.

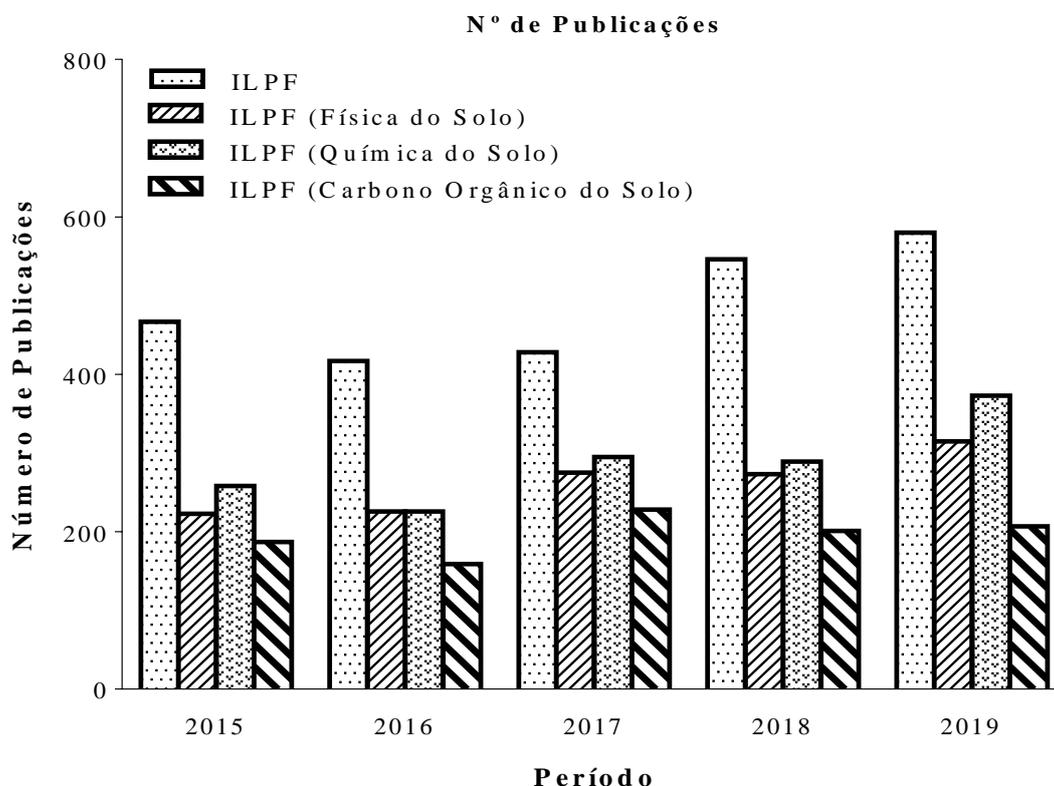


Figura 2. Levantamento bibliográfico relativo às publicações sobre a temática do sistema de ILPF sobre parâmetros físicos, químicos e carbono orgânico do solo na base de dados do Google Acadêmico (A autora, 2020)

Pesquisas que utilizam as avaliações do carbono orgânico são menos expressivas se comparadas com os estudos dos parâmetros físicos e químicos do solo, totalizando apenas 982 publicações na compilação dos anos em estudo, com uma média de 196,4 publicações por ano, o que pode ser justificado pelo fato de que as análises de carbono orgânico e matéria orgânica as vezes é compreendida junto a análises químicas (Figura 3).

Atributos químicos são mais pesquisados e publicados do que os atributos físicos, sendo um total de 1441 sobre química do solo para 1312 sobre física em ILPF. Dados de carbono não foram muito expressivos se comparados com química ou física, pois eles podem estar inseridos em publicações a respeito da química do solo.

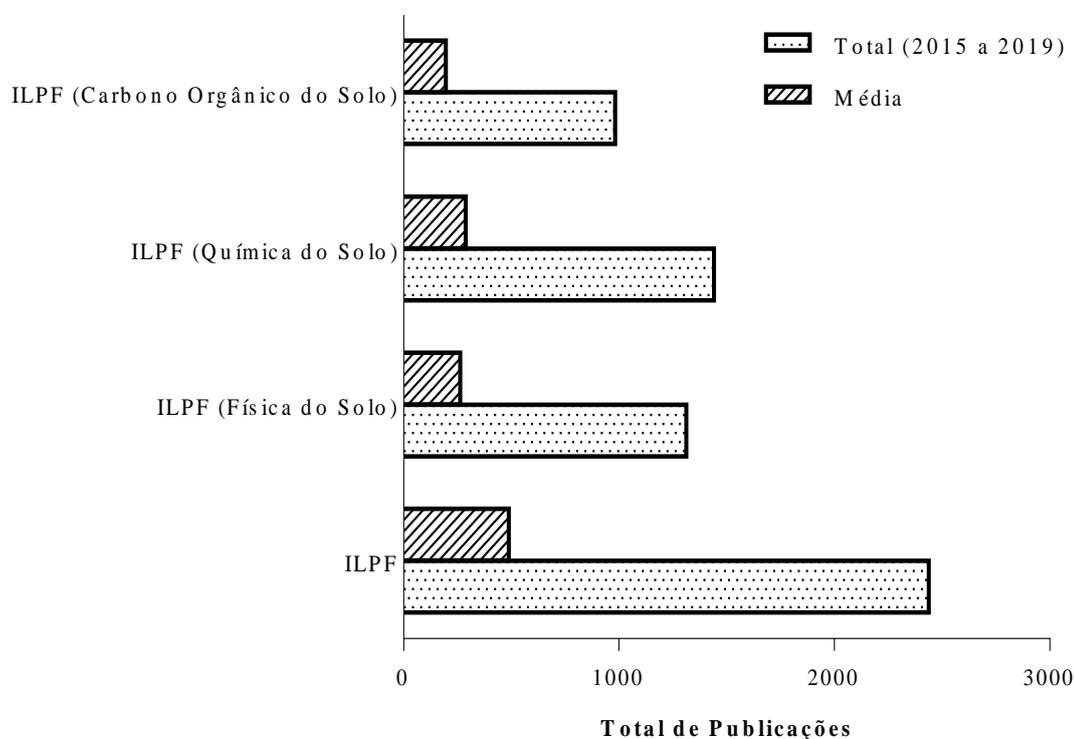


Figura 3. Total e médias das publicações sobre a temática do sistema de ILPF sobre parâmetros físicos, químicos e carbono orgânico do solo na base de dados do Google Acadêmico (A autora, 2020).

Houve uma evolução na quantidade de publicações de relativas ao tema ILPF, mostrando assim que ao longo dos anos há grande interesse para os pesquisadores, saindo de 223 publicações em 2015 para 315 publicações em 2019.

3.7 Referências

ALENCAR, A.; NEPSTAD, N.; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P; DIAZ, M. D. C. V.; FILHO, B. S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica.** Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 89 p., 2004.

ALMEIDA, R. G. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. In: Encontro sobre zootecnia de mato grosso do sul, 7, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: UFMS, 2010. p. 1-10. 1 CD-ROM.

ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. DA; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. *Informe Agropecuário*, v.31, p.59-67, 2010.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amaz. [online]**, v.41, pp.103-114, 2011.

ARAÚJO, E.A. 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, 2012.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária- floresta**. Brasília: Embrapa,130p., 2011.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-pecuária-floresta (ILPF). **Informações Agrônomicas**, n. 138, p. 1-14, 2012

BALBINOT, JR., A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: Intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**. 39:1925-1933, 2009.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P.; MÜLLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v.36, p.1845-1853, 2012.

BORGHI, E.; NETO, M. M. G.; RESENDE, R. M. S.; ZIMMER, A. H.; DE ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. Embrapa Milho e Sorgo- Capítulo em livro técnico, 2018.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho Distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman: 2013. 658p.

BRASIL. **Lei 1.806, 06 de janeiro de 1953**. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. Lex: Coleção de Leis do Brasil, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1260, 1953.

CAETANO, J.O.; BENITES, de M.V.; SILVA, P. G.; SILVA, R. I.; ASSIS L. R.; CARGNELUTTI, F. A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de

cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.37, (s.n), p.1245-1255, 2013.

CARNEIRO, M. A. C. et al. 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.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STOCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesq. agropec. bras.[online]**, v.51, n.9, pp.1131-1139, 2016.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Research**, v.103, p.342-349, 2009.

CARVALHO, R. P. de; DANIEL, O.; VIDE, A. C. Da; SOUZA, F. R. De. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 148 – 159, 2015.

CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDÓN, M.A. Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest. **In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P.** Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, p.245-266, 2006.

CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; POWLSON, D.S.; BATJES, N.H.; MILNE, E.; CERRI, C.C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 122:58-72, 2007.

CORDEIRO, L. A. M.; MARCHÃO, L. VILELA, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégias Para Intensificação Sustentável do Uso do Solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan./ago. 2015.

COSTA, F.P. et al. Custo-benefício dos sistemas de produção em integração. In BUNGENSTAB, D.J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p.81-89.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**, v.33, n.5, pp.1137-1145, 2009.

DAVIDSON, E. A.; SA, T. D. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O.; KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; ISHIDA, F. Y. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to

slash-and-burn agriculture in eastern Amazônia. **Global Change Biology**, v. 14, p. 998-1007, 2008.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém, PA, 2011

DIAS-FILHO, M.B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. In: SAMBUICHI, R. H. R. et al. (Org.). **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Brasília, DF: Ipea, p. 149-169, 2014.

DIAS-FILHO, M.B.; ANDRADE, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 30p., 2006. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 241).

DIAS-FILHO, M.B.; DAVIDSON, E.A.; CARVALHO, C.J.R. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon Basin. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E., eds. *The biogeochemistry of the Amazon Basin*. New York, Oxford University Press, 2001. p.84-105.

DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L.; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014.

FALEIRO, F. G.; FARIAS, A. L. N. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Cap. 14, Embrapa Cerrado, Planaltina – DF, 2008. **FAO. Sítio Agricultura de Conservação**. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ca/es/>. Acesso: 20 de janeiro de 2020.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; RUIZ DIAZ, D. A.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 622-623, p. 735-742, 2018.

FERREIRA, S. A. **Avaliação visual da estrutura e macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo no subtropical brasileiro**. Curitiba, PR, Universidade Federal de Curitiba, 2015, 42 p. (Dissertação de mestrado)

FIGUEIREDO, R. S.; FERNANDES, K. C. C.; MUNIZ, L. C.; CUNHA, C. A.; OLIVEIRA NETO, O. J. Otimização da relação retorno/risco em projetos de integração lavoura-pecuária. **Custos e @gronegócio on line**, v. 10, n. 2, Abr/Jun. 2014.

FREIRE, F.M.; COELHO, A.M.; BARROS, N.F.; BARROS FILHO, N.F. & NEVES, J.C.L. Manejo da fertilidade do solo no Sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta. **Infor. Agrop.**, 31:25-36, 2012.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; MACHADO, A.F.L. & NASCIMENTO, P.G.M.L. Culturas agrícolas em sistemas agrossilvipastoril. In: Sistema Agrossilvipastoril: OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. *Integração Lavoura Pecuária e Floresta*. 1.ed. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, 2010. p.69-103.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **BioScience**, v. 52, p. 143-150, 2002.

HAVLICEK, E. Soil biodiversity and bioindication: From complex thinking to simple acting. **European Journal of Soil Biology**, v.49, p.80-84, 2012.

IBGE. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, v. 7, p.1-108, 2017.

INPE. PRODES. **Taxas anuais do desmatamento** - 1988 até 2019 (Km²/ano) Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/taxas_prodes.htm Acesso em: 08 de janeiro de 2020.

INPE; EMBRAPA. **Projeto Terra Class**: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal brasileira – 2004-2014. São José dos Campos, 2016. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php Acesso em: 25 de janeiro de 2020.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, 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**, v. 16, p.730–738, 2012.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.14, n.1, p. 365-371, 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BACELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé** - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A. R.; TEIXEIRA, S. M.; OLIVEIRA, E. T. **Renovação de pastagens de Cerrado com Arroz. I. Sistema Barreirão**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1991. 20 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 33).

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences**, London, v. 363, n. 2, p.815-830, 2008.

LIMA, S. S. D.; LEITE, L. F. C., OLIVEIRA, F. D. C., & COSTA, D. B. D. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

LLANILLO, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; FILHO, J. T. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.524–530, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, 55:260-268, 2012.

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**. 46:1269-1276, 2011.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ D, VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Soil physical attributes in onion cultivation under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v.11, n.1, p.1-9, 2017.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 133-146, jan. 2009.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa de agricultura conservacionista para os diferentes biomas brasileiros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18, 2010, Teresina. Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte; UFPI, 2010. 34 p. 1 CD-ROM.

MACEDO, M. C. M.; DE ARAÚJO, A. R. **Sistemas de produção em integração**: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.

MACEDO, MCM; ZIMMER, A. H. **Potencial para adoção da estratégia de integração Lavoura-Pecuária e de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para recuperação de pastagens degradadas**. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico, 2015.

MACHADO, L.A.Z.; BALBINO, L.C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta**. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. 110.ed. Dourados, Embrapa. 2011, 48p.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no Semi-Árido Cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D.G. dos; SÁ, M.A.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (orgs.). **Amazônia Maranhense**: diversidade e conservação. Belém: MPEG, 328p., 2011.

MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI H.; DALMAGO, G. A.; FARIA, R. T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, jul./ago. 2009.

MARZAIOLI, R.; ASCOLI, R. D.; DE PASCALE, R. A.; RUTIGLIANO, F. A. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 205– 212, 2010.

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. de O.; SOUZA, E. F. M. de; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MÜLLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

MENESES, F. M. N., PRIMO, A. A., VIEIRA, L. V., MELO, M. D., FERNANDES, J. K. S., & de SOUZA, H. A. Avaliação dos atributos químicos do solo em função do tipo de manejo agrícola no semiárido cearense. In Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE). **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: Anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4 f, 2015.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C. VEZZANI, F. FERNANDES, F. F. DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópico em ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 209-248, 2003.

MILINDRO, I. F. et al. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, Belém, v. 10, n. 3, p. 1-5, out. 2016.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 385-396, 2015.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. A pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1024-1031, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 729p., 2006.

MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; ROCHA, G. C.; MAGALHÃES, C. A. de S.; FARIAS NETO, A. L.; MENEGUCI, J. L. P.; FERNANDES, R. B. A. Physical quality of soils under a crop-livestock-forest system in the Cerrado/Amazon transition region. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, p. 1-10, 2018.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JÚNIOR, E.; PETEAM, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. F. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, n.2, p.389-400, 2012.

MUNIZ, L. C.; REGO, C. A. R. M.; CANTANHEDE, I. S. L.; FIGUEIREDO, R. S. Utilização da modelagem para análise da viabilidade econômica e de risco da implantação de diferentes sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no município de Pindaré-Mirim, Maranhão. In: 55° Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2017, Santa Maria. **Anais... 55° Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2017. v. 55. p. 1-12.

PERES, C.A.; GARDNER, T.A.; BARLOW, J.; ZUANON, J.; MICHALSKI, F.; LEES, A.C.; VIEIRA, I.C.G.; MOREIRA, F.M.S.; FEELEY, K.J. Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscapes. **Biological Conservation**, Essex, v.143, n. 10, p.2314-2327, 2010

PORTILHO, I. I. R, CREPALDI. R. A, BORGES, C. D., SILVA, R. F., SALTON, J. C., MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavourapeçuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2011; 46-1310-1320.

PORTILHO, I. I. R.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada do solo em sistemas de integração lavourapeçuária-floresta. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 34., 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem: anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

REGO, C. A. R. M.; REIS, V. R. R.; WANDER, A. E.; CANTANHEDE, I. S. L.; COSTA, J. B. ; MUNIZ, L. C.; COSTA, B.P.; HERRERA, J. L. L. Cost Analysis of Corn Cultivation in the Setup of the Crop-Livestock-Forest Integration System to Recover Degraded Pastures. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 168-174, 2017.

REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. **Qualidade física dos solos**. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 16, 2006. Anais... Aracaju: SBCS, 2006.

ROCHA JUNIOR, P. R. et al. Qualidade Química de um Argissolo Vermelho influenciada por níveis de degradação de pastagem. In:**XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2011, Uberlândia-MG. Solos nos Biomas Brasileiros: Sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.

RODRIGUES, S. T.; SCHWARTZ, G; ALMEIDA, S. S. Diversidade, síndromes de dispersão e formas de vida vegetal em diferentes estágios sucessionais de florestas secundárias em Tomé-Açu, Pará, Brasil. **Amazônia:Ciência & Desenvolvimento**, v.7, p.21-31, 2012.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Soc. nat. [online]**, v.24, n.2, pp.359-376, 2012.

SÁ, J. C. de M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, Oxford, v. 98, p. 102-112. 2017.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Efeito do componente florestal em sistema ILPF nos atributos físicos e carbono orgânico de um Latossolo Amarelo. **Anais... IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo “Solos no Espaço e Tempo: Trajetórias e Tendências”**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 2017.

SALTON, J. C.; PEZARICO, C. R.; TOMAZI, M.; COMAS, C. C.; RICHETTI, A.; MERCANTE, F. M.; CONCENÇO, G. **20 anos de experimentação em Integração Lavoura-Pecuária na Embrapa Agropecuária Oeste: relatório 1995-2015**. (Documentos, 130). Dourados/MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015.

SANCHEZ, P.A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P.A. (Ed.) **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, p.162-183, 1976.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. **A review of chemical and physical properties as indicators of 355 forest soil quality: challenges and opportunities**. Forest Ecology Management, Austrália, v. 138, n. 1/3, p. 335-356, Nov. 2000.

SIGNOR, D. **Mudança de uso da terra e impacto na matéria orgânica do solo em dois locais no Leste da Amazônia**. Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 152p. (Tese de Doutorado). 2013.

SILVA, M. E. S. Interação biosfera-atmosfera. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005. **Anais...** do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo, p. 14641-14657, 2005.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Maringá**, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010

TOWNSEND, C. R. et al. **Considerações sobre sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2009 (Série Embrapa, Documentos, 130).
TRECENZI, R.; OLIVEIRA, M.C.; HASS, G. **Integração lavoura-pecuária-silvicultura**. Brasília: MAPA/SDC, 2008. 54p. (Boletim técnico).

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado).

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.

4. CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM CRONOSSEQUÊNCIA DE PASTAGEM EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos físicos e químicos do solo em cronosequência de pastagem em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil. Para efeito de avaliação, o experimento contemplou dois ambientes de referência: capoeira com vegetação secundária em regeneração há aproximadamente 20 anos e mata nativa de babaçu com solos coletados antes do início do projeto; e cinco épocas de sucessão: pastagem degradada, pastagem em ILPF 2016, 2017, 2018 e 2019 que foram comparados com os ambientes de referência. As amostras indeformadas foram coletadas em minitrincheiras para determinação de atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) nas profundidades de: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm. Para os atributos químicos (pH, MO, P, Al, H + Al, SB e V) do solo coletaram-se amostras deformadas compostas nas mesmas profundidades. Nesse experimento considerou-se os manejos como tratamentos empregando-se pseudorepetições e de posse dos dados foi realizada análise de variância e empregado teste de médias (Tukey, 5% de probabilidade), ainda, realizou-se análise multivariada (análise de componentes principais e de agrupamento). Para as profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 30 - 40 cm, as variáveis fósforo e saturação por bases apresentaram maiores valores em ILPF 2018. A pastagem em ILPF 2017 apresenta dissimilaridade dos demais usos do solo pelo ponto de vista de variáveis físicas do solo, enquanto a pastagem em ILPF 2018 foi pela melhoria química do solo. A substituição da pastagem degradada pelo sistema ILPF diminuiu a porosidade do solo, que foi abruptamente modificada após a lavoura de milho, contudo percebe-se um aumento da qualidade física com o estabelecimento da pastagem.

Palavras-Chave: Amazônia. Sistemas Integrados. Fertilidade do solo.

4.1 Introdução

A área total de pastagens (naturais e plantadas) no Brasil é de 158,6 milhões de hectares, dos quais 27,5 milhões estão concentrados na região Nordeste. O estado do Maranhão, que engloba uma porção significativa dessas pastagens, possui nelas o segundo maior rebanho bovino dessa região brasileira, com cerca de 5,4 milhões de animais (IBGE, 2017). A maior parte do rebanho brasileiro é criado e terminado a pasto, sendo que a maior parte dos solos que abriga essas pastagens possui baixa fertilidade natural e o uso contínuo do solo pode desencadear sua progressiva degradação, o que interfere na capacidade de produção e recuperação da pastagem (SANTOS; FONSECA, 2016).

Nesse sentido é crescente a necessidade de minimizar os impactos ambientais sem reduções da produtividade, por meio da recuperação de pastagens degradadas e manutenção da qualidade do solo. Além do seu potencial de recuperação de pastagens degradadas e de melhoria da produtividade agrícola, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) pode promover o sequestro de carbono (LORENZ; LAL, 2014), a biodiversidade (TORRALBA et al., 2016), a eficiência do uso de nutrientes (DOLLINGER; JOSE, 2018) e reduzir a erodibilidade do solo (LIU et al., 2016).

O sistema de ILPF pode ser entendido como um modelo de exploração que utiliza práticas multifuncionais e sinérgicas nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera em áreas que integram atividades de produção agrícola e pecuária, em consórcio, rotação ou sucessão (LOVELL, 2018; MORAES et al., 2013). O sucesso de um projeto de integração para a recuperação de áreas degradadas pode ser mensurado a partir de indicadores de recuperação, como os atributos físicos e químicos do solo, considerados a forma mais adequada de medir e monitorar a conservação ou processos de degradação em curso (HAVLICEK, 2012; ANGHINONI et al., 2013).

Contudo, são escassos e muito preliminares os relatos de estudos como o de Reis et al. (2018) na Mata de Cocais maranhense e Oliveira et al. (2015) no Cerrado de Goiás, que utilizam a cronossequência em áreas de ILPF para explicar as alterações dos atributos físicos e químicos do solo. Dentre esses atributos físicos, a densidade do solo e a porosidade são utilizados para avaliar os efeitos do manejo (BONO et al., 2013; CARVALHO et al., 2016; MOREIRA et al., 2012), assim como, entre os atributos químicos, destacam-se pH, cálcio, fósforo e alumínio (ASSIS et al., 2015; FREIRE et al., 2012; RODRIGUES et al., 2017).

À luz do exposto, este trabalho parte da hipótese que o sistema ILPF em substituição à pastagem degradada, é capaz de promover a qualidade física e incrementar a fertilidade do

solo, de forma gradativa, durante quatro anos após a sua implantação. O objetivo desse trabalho foi mensurar em cronossequência os atributos físicos e químicos do solo em pastagem inserida em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta localizado no município de Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

4.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica em ILPF da Embrapa Cocais, localizada na Fazenda Muniz, no município de Pindaré-Mirim, no estado do Maranhão (3° 46'9, 12'' S e 45° 29'35, 52'' W). O clima da região é classificado segundo Koppen (1948) como Aw (quente e úmido) e a temperatura média anual é de 26 °C, com mínima de 22,3 °C e máxima de 33,5 °C. A precipitação pluviométrica está entre 2.000 a 2.400 mm anuais e a umidade relativa do ar anual entre 79% e 82%. Há duas épocas bem definidas, as quais são o período chuvoso (janeiro a julho) e período seco (agosto a dezembro) (BATISTELA et al., 2013).

O solo é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (GARCIA, 2015), com textura média, e o relevo local apresenta variações entre suave-ondulado a ondulado, recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras baixas, com predomínio de palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) e pastagem degradada.

A área de implantação do ILPF correspondeu a três hectares e meio, subdividido em 14 piquetes, com consórcio e sucessão de milho, eucalipto, pastagem e bovinos para corte. Em 2016, o solo foi corrigido aos 90 dias antes do plantio do milho pelo método de saturação por bases, com uma dose de 1,8 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80%). A incorporação do calcário foi em área total com aração, gradagem e nivelamento, até 20 cm de profundidade. Foi utilizado o sistema Santa Fé (COBUCCI et al., 2007) para implantação do capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu consorciado com o milho híbrido KWS 9304. A semeadura foi realizada de forma simultânea, com 20 e 10 kg ha⁻¹ de sementes de milho e de capim, respectivamente, utilizando-se espaçamento de 0,6m x 0,3m para o milho e a pastagem na entrelinha utilizando-se a terceira caixa da plantadeira. Aos 70 dias após o plantio do milho, foi realizado o transplantio das mudas de eucalipto em renques, no espaçamento de 3m x 2m e 28m entre fileiras duplas. Foram utilizados dois clones de eucalipto (MA-2000 e MA-2001), distribuídos de forma aleatória nas fileiras e provenientes da polinização controlada entre as espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*.

Em 2017 não houve aplicação de calcário no solo, e o cultivo do milho e capim foi realizado na forma de plantio direto em sulco sobre a palhada de 2016 (MIRANDA et al., 2005), com a mesma quantidade de sementes e o mesmo espaçamento do ano anterior. As adubações de 2016 e 2017 para as culturas do milho ocorreram da seguinte maneira: adubação de plantio = 400 kg/ha⁻¹ da fórmula (04 - 30 - 10 + Zn); 1ª adubação de cobertura = 200 kg/ha⁻¹ da fórmula (36 - 00 - 30), após 10 dias da emergência do milho (4 folhas DAE); e a 2ª adubação de cobertura = 200 kg/ha⁻¹ da fórmula (36 - 00 - 30), 20 dias após a primeira adubação de cobertura (8 folhas DAE).

Em 2018 o pasto foi dividido em doze piquetes de 2250 m² e dois piquetes reservas de 5000 m², que se mantiveram em pousio até o mês de novembro do mesmo ano, quando houve a entrada do primeiro lote com dez garrotes anelados, peso médio de 250 kg e taxa de lotação de 3 UA ha⁻¹ ano⁻¹, que permaneceram até abril de 2019. No mês de maio de 2019, houve a entrada do segundo lote com 41 novilhos anelados, peso médio de 165 kg e taxa de lotação de 2,7 UA ha⁻¹ ano⁻¹. No ano de 2018 a entrada dos animais foi realizada após a coleta de solo, não havendo efeito do pastejo para esse ano. Nesses dois anos, não houve adubação do capim nos piquetes coletados.

Para efeito de avaliação dos atributos físicos e químicos do solo, o experimento contemplou dois ambientes de referência e cinco épocas de sucessão. No Quadro 1 está a descrição e o histórico dos diferentes ambientes que foram avaliados nesta pesquisa.

A amostragem do solo ocorreu no mês de junho de cada ano de referência. Nas áreas de capoeira, mata nativa e pastagem degradada, as amostras foram coletadas concomitantemente ao uso da terra com ILPF I. Em todos os usos da terra foram abertas três trincheiras de um metro quadrado por um metro de profundidade, dispostas aleatoriamente ao longo de cada ambiente de coleta. No sistema ILPF, as trincheiras foram anualmente abertas entre os renques do eucalipto e a suas localizações foram georreferenciadas para que as trincheiras fossem abertas em locais próximos ao longo da cronossequência.

As amostras de solo foram retiradas até 40 cm de profundidade, que compreendeu quatro profundidades de: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm. As amostras indeformadas foram coletadas em três faces (paredes) da trincheira, empregando-se um coletor e um anel volumétrico de aço inox com volume de 100 cm³. Essas amostras foram utilizadas para a determinação dos atributos físicos do solo, no Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Maranhão.

Quadro 1. Descrição e histórico dos diferentes usos da terra avaliados em Pindaré-Mirim, MA.

Ano	Uso da terra	Histórico
2016	Mata Nativa com babaçu	Sem uso do solo para fins agronômicos. Sendo o babaçu a principal espécie.
2016	Capoeira	Ambiente em regeneração, anteriormente usada para pastagem. Sem uso há aproximadamente 20 anos.
2016	Pastagem degradada	Área cultivada com <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e seguida por 15 anos de super pastejo em sistema extensivo. Nessa área o solo foi coletado antes da implantação do sistema ILPF em 2016.
2016	ILPF I	Recuperação de pastagem degradada com cultivo do milho em consórcio com capim <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e eucalipto para implantação do sistema de ILPF. A amostragem de solo foi feita nessa área no primeiro ano do sistema de ILPF, imediatamente após a colheita do milho.
2017	ILPF II	Área precedida pelo ILPF I, no segundo ano de cultivo de milho consorciado com capim <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e eucalipto, sob sistema de ILPF feito em plantio direto, na palhada do capim produzido no ILPF I. A amostragem de solo foi feita nessa área imediatamente após o segundo ano da colheita do milho.
2018	ILPF III	Área precedida pelo ILPF II, após um ano da implantação do capim <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e eucalipto. O pasto se manteve em pousio até o mês de novembro quando houve a entrada dos bovinos da raça Nelore para corte, com peso de entrada de 250 kg e taxa de lotação de 3 UA/há/ano (não se considera o pastejo no ano de 2018 pois o solo foi coletado antes da entrada dos animais no sistema). A coleta do solo foi feita em junho.
2019	ILPF IV	Área precedida pelo ILPF III, após dois anos da implantação do capim <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e eucalipto. Primeiro ano do capim em pastejo contínuo de bovinos, mesma taxa de lotação do ano anterior, os animais ficaram no sistema até abril de 2019, na saída ficou um resíduo na palhada de 28 cm. A coleta do solo foi feita em junho.

A densidade do solo foi determinada por meio do método do anel volumétrico. A macroporosidade e a microporosidade foram obtidas pelo método da mesa de tensão com coluna d'água de 0,60 m e a porosidade total foi calculada pela soma dos valores de macroporosidade e microporosidade do solo (TEIXEIRA et al., 2017).

Para as análises químicas foram amostrados doze pontos equidistantes ao redor de cada trincheira e distribuídos em todas as direções cardeais com uma distância de dez metros entre os pontos na mesma direção. Nesses pontos foram coletadas amostras deformadas compostas de solo, com o auxílio de trado holandês. De acordo com Teixeira et al. (2017), as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm para análise dos atributos químicos, no Laboratório de Solo e Planta da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI.

O pH em água foi determinado eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de solo e água na proporção 1:2,5. O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl (1 mol L^{-1}). O cálcio e magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e a determinação do Al trocável realizada por titulação com NaOH ($0,025 \text{ ml L}^{-1}$). A acidez potencial (H + Al) foi extraída com acetato de cálcio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e determinada por titulação com NaOH ($0,025 \text{ ml L}^{-1}$). Ainda, calculou-se o valor de saturação por bases. O carbono orgânico foi determinado empregando-se o dicromato de potássio e posteriormente calculada a matéria orgânica, empregando-se o fator de 1,724.

Considerou-se os manejos como tratamentos empregando-se pseudorepetições, pois estavam na mesma classe de solo, assim procedeu-se análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), empregando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2014). Ainda, realizou-se também a análise multivariada, nesse caso, análise de componentes principais e análise de agrupamento pela distância Euclidiana, por meio do software R (R Core Team, 2017).

4.3 Resultados

A densidade do solo não apresentou diferenças estatísticas nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm. Contudo, em subsuperfície, houve diferença entre os manejos para a área de mata nativa (1,31 e $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ nas profundidades de 20 – 30 e 30 – 40 cm, respectivamente) e de capoeira (1,34 e $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ nas profundidades de 20 – 30 e 30 – 40 cm, respectivamente), que também apresentaram menores valores em relação a área de pastagem degradada e a pastagem de *Urochloa brizantha* em ILPF 2017 e 2019. Entretanto, verifica-se entre as profundidades, um aumento da densidade com a profundidade do solo independentemente do manejo (Figura 4).

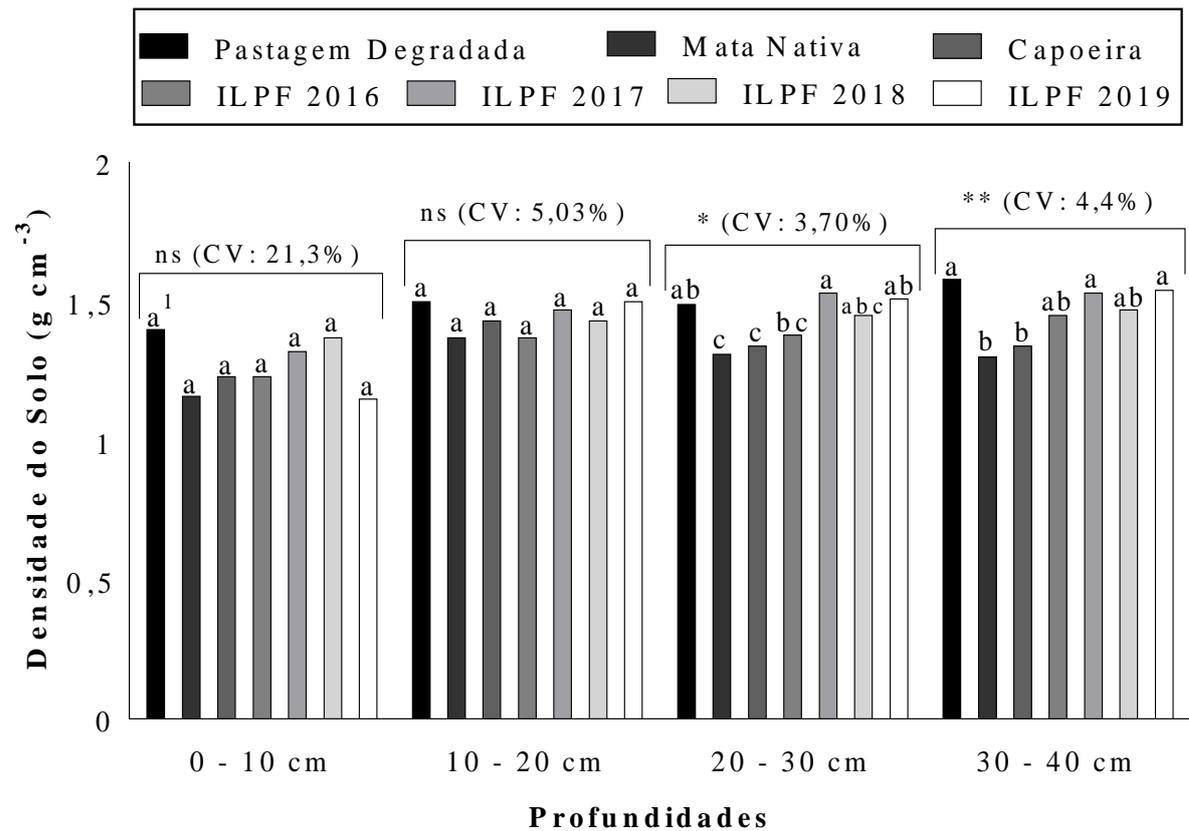


Figura 4. Valores médios de densidade do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm). Pindaré-Mirim, MA. ¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

Os menores valores de macroporosidade foram verificados nos manejos ILPF 2018 para todas as profundidades e, também, para ILPF 2017, exceto para a camada de 20-30 cm, o qual diferiu apenas da mata nativa, que apresentou maior macroporosidade. Para microporosidade o ILPF 2018 apresentou maiores valores para os demais manejos na camada de 0-10 e de 30-40 cm, e nas profundidades intermediárias 10-20 e 20-30 cm não diferiu do ILPF 2017 e da área de capoeira (Figura 5).

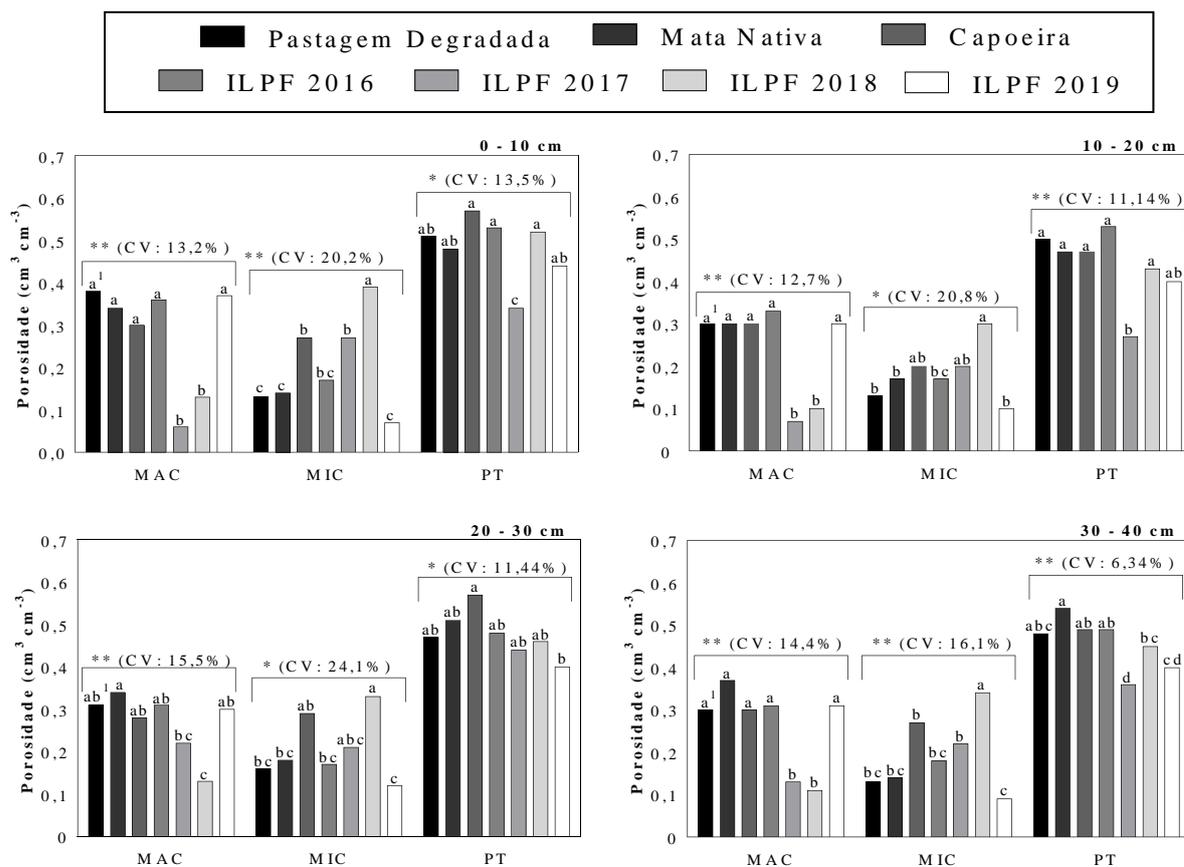


Figura 5. Valores médios de macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC) e porosidade total (PT) em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Pindaré-Mirim, MA. ¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

Com relação a porosidade total na camada superficial a área de pastagem em ILPF 2017 apresentou menor porosidade em relação aos demais manejos (0-10 cm), na camada de 10-20 cm verifica-se resultado similar a camada anterior, porém o ILPF 2017 não diferiu do ILPF 2019. Para a camada de 20-30 cm a capoeira apresentou maior PT em relação ao ILPF 2019 e na camada de 30 - 40 cm verifica-se maior porosidade para a área de mata em relação à pastagem em ILPF de 2017, 2018 e 2019 (Figura 5).

O pH apresentou maior valor na pastagem em ILPF 2018 o que pode ser justificado pela calagem realizada em 2016, o que é corroborado pela maior saturação por bases, além das menores concentrações de $\text{H} + \text{Al}$ e de Al . A mesma tendência pode ser constatada para as demais profundidades avaliadas, em que se destacam os manejos no ILPF 2018 e 2019, principalmente, em relação a mata nativa (Tabela 1).

As variáveis $\text{H} + \text{Al}$ e Al apresentam as maiores concentrações, principalmente, nos manejos capoeira e mata nativa, e os menores valores foram encontrados na pastagem em sistema ILPF para todos os anos (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios dos atributos químicos do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo avaliado em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil

Manejos	pH	MO	P	Al	H + Al	SB	V
	H ₂ O	g/kg	g dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			%
0 a 10 cm							
ILPF - 2016	4,8 cd	1,60 ab	4,3 bc	0,28 b	2,23 b	10,07 ab	82 a
ILPF - 2017	4,5 d	1,43 ab	10,6 b	0,82 a	4,80 ab	11,53 a	70 ab
ILPF - 2018	5,5 a	1,70 ab	19,6 a	0,07 c	2,33 b	5,83 ab	71 ab
ILPF - 2019	5,0 bc	1,33 b	24,4 a	0,07 c	2,1 b	5,99 ab	71 ab
Pastagem degradada	5,4 ab	1,83 ab	3,5 bc	0,32 b	2,56 b	10,73 ab	80 a
Mata Nativa	4,8 cd	2,16 a	1,3 c	0,20 b	6,40 a	6,50 ab	52bc
Capoeira	5,1 abc	1,46 ab	1,7 c	0,95 a	6,56 a	4,69 b	42 c
Teste F	*	**	*	**	**	*	**
CV (%)	3,1	16,2	30,4	11,3	32,1	28,3	11,5
10 a 20 cm							
ILPF - 2016	4,9 ab	1,07	9,3 ab	0,60 abc	2,39 b	9,90 a	81 a
ILPF - 2017	4,7 b	1,09	6,3 ab	1,07 a	5,13 a	8,97 ab	63 ab
ILPF - 2018	5,6 a	1,15	9,0 ab	0,07 c	1,99 b	5,14 ab	72 a
ILPF - 2019	5,4 a	0,86	10,9 a	0,07 c	1,48 b	5,53 ab	74 a
Pastagem degradada	5,5 a	1,08	1,4 bc	0,33 bc	2,23 b	7,40 ab	81 a
Mata Nativa	4,7 b	1,19	1,7 bc	1,03 ab	6,19 a	5,40 ab	45 bc
Capoeira	5,0 ab	0,99	0,6 c	1,47 a	5,2 a	4,07 b	40 c
Teste F	**	ns	*	**	**	**	**
CV (%)	4,8	14,1	21,4	23,3	24,1	27,3	11,1
20 a 30 cm							
ILPF - 2016	4,7 b	0,78 b	4,7 b	1,05 a	2,97 b	10,16 ab	77 a
ILPF - 2017	4,6 b	0,76 b	4,6 b	1,73 a	6,33 a	9,32 abc	59 b
ILPF - 2018	5,6 a	1,24 a	5,6 a	0,14 b	2,03 b	6,02 abc	74 ab
ILPF - 2019	5,5 a	0,69 b	5,5 a	0,09 b	1,43 b	6,22 abc	80 a
Pastagem degradada	5,4 a	0,91 ab	5,4 a	0,20 b	2,47 b	11,37 a	81 a
Mata Nativa	4,7 b	0,93 ab	4,7 b	1,83 a	6,67 a	4,03 bc	42 c
Capoeira	5,0 ab	0,77 b	5,1 ab	2,43 a	6,45 a	3,77 c	37 c
Teste F	*	**	*	**	**	*	**
CV (%)	4,4	15,9	4,3	13,2	24,07	30,4	9,7
30 a 40 cm							
ILPF - 2016	4,6	0,64 b	1,2 bc	3,39 a	4,93 abc	9,76 abc	70 ab
ILPF - 2017	5,5	0,63 b	3,7 a	2,63 a	9,87 a	11,28 ab	53 bc
ILPF - 2018	5,4	1,03 a	3,2 a	0,73 bc	2,45 bc	7,31 abc	74 ab
ILPF - 2019	5,4	0,75 ab	1,7 b	0,19 c	1,31 c	5,65 bc	81 a
Pastagem degradada	5,1	0,81 ab	1,3 ab	1,4 abc	3,55 bc	14,8 a	80 a
Mata Nativa	4,6	0,7 ab	0,8 bc	2,58 ab	6,88 ab	3,26 c	28 c
Capoeira	5,0	0,70 ab	0,7 c	2,95 a	7,2 ab	3,26 c	31 c
Teste F	ns	*	**	*	**	**	**
CV (%)	13,4	15,4	12,5	24,4	35,1	34,2	16,2

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); P (fósforo); Al (alumínio); H + Al (acidez potencial); SB (soma de bases); V% (saturação por bases).

A matéria orgânica apresentou diferença entre os manejos, sendo que na camada superficial houve superioridade da área de mata em relação ao ILPF 2019, contudo nas profundidades abaixo de 0-10 cm houve maiores concentrações no manejo ILPF 2018 em relação ao ILPF 2019 e a capoeira na camada de 20-30 cm, e superioridade em relação ao ILPF 2016 e 2017 na camada de 30-40 cm. Possivelmente, essa superioridade se deve ao predomínio das raízes de *Urochloa brizantha* no sistema ILPF e à diversidade e quantidade de vegetação presente na mata nativa, os quais proporcionam maior aporte de biomassa à superfície do solo.

Ainda, para a pastagem em ILPF em 2018 e 2019 constatam-se os maiores valores de P, no entanto, para profundidade mais profundas (20-30 e 30-40 cm) a área de pastagem degradada apresenta concentrações de P que não a diferencia do ILPF, além dos valores de matéria orgânica nas profundidade mais profundas entre 20-30 e 30-40 cm, que em geral não diferiram dos manejos que apresentavam maiores concentrações (Tabela 1).

A análise de componentes principais mostrou que os dois componentes selecionados explicaram 61,08; 62,13; 73,83 e 69,91% da variância total dos dados para as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, respectivamente (Tabela 2). Em relação às variáveis e os componentes principais foram considerados relevantes os que apresentaram coeficientes de peso maior que 0,3 (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) para atributos físicos e químicos do solo em área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo avaliado em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão.

Atributos	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Ds	-0,38	-0,22	0,15	-0,20	-0,30	-0,26	-0,32	-0,18
MAC	0,23	0,43	-0,12	0,57	0,28	-0,37	0,37	0,18
MIC	-0,22	-0,22	0,18	-0,33	-0,03	0,58	-0,24	0,06
PT	0,08	0,40	-0,02	0,53	0,31	0,33	0,31	0,33
pH	-0,22	0,39	0,36	0,24	-0,30	0,10	-0,37	-0,08
MO	0,14	0,15	-0,11	-0,17	-0,21	0,45	-0,23	0,47
P	-0,32	0,10	0,38	-0,13	-0,34	0,19	-0,39	-0,13
Al	0,47	-0,21	-0,42	-0,27	0,37	0,11	0,23	-0,45
H + Al	0,23	-0,48	-0,47	-0,11	0,38	0,03	0,22	-0,46
SB	-0,25	-0,32	0,16	-0,25	-0,20	-0,29	-0,22	-0,36
V	-0,49	0,07	0,47	-0,03	-0,41	-0,06	-0,35	0,17
Autovalores	3,76	2,95	4,26	2,57	5,51	2,6	5,08	2,60
Variância total (%)	34,24	26,83	38,74	23,39	50,11	23,72	46,23	23,67
Variância acumulada (%)	34,24	61,08	38,74	62,13	50,11	73,83	46,23	69,91

Ds (Densidade do solo) ; MAC (macroporosidade); MIC (microporosidade); PT (porosidade total); pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); P (fósforo); Al (alumínio); H + Al (acidez potencial); SB (soma de bases); V% (saturação por bases).

Na camada superficial (0 – 10 cm) verificam-se que os valores negativos para o componente principal 1 (CP1) e positivos para o componente principal 2 (CP2) estiveram atrelados ao ILPF 2018, destacando-se as variáveis fósforo e saturação por bases, contudo para os valores positivos do componente principal 1 e próximo de zero do CP2 destacam-se as áreas da mata nativa e capoeira que apresentaram maiores concentrações de Al (Figura 6A), de maneira análoga este resultado também pode ser constatado para a profundidade de 10 - 20 cm (Figura 6B), 20 - 30 (Figura 7C) e 30 - 40 cm (Figura 7D). Ainda, na profundidade de 0 – 10 cm a pastagem em ILPF 2019 e ILPF 2017 se contrapuseram, sendo que o primeiro esteve atrelado a valores positivos do CP2, associado a maior macroporosidade e porosidade total, ocorrendo o inverso ao ILPF 2017, o qual se destacou dos demais manejos pelos menores valores destes atributos físicos, resultado também observado para as profundidades de 10 – 20 cm.

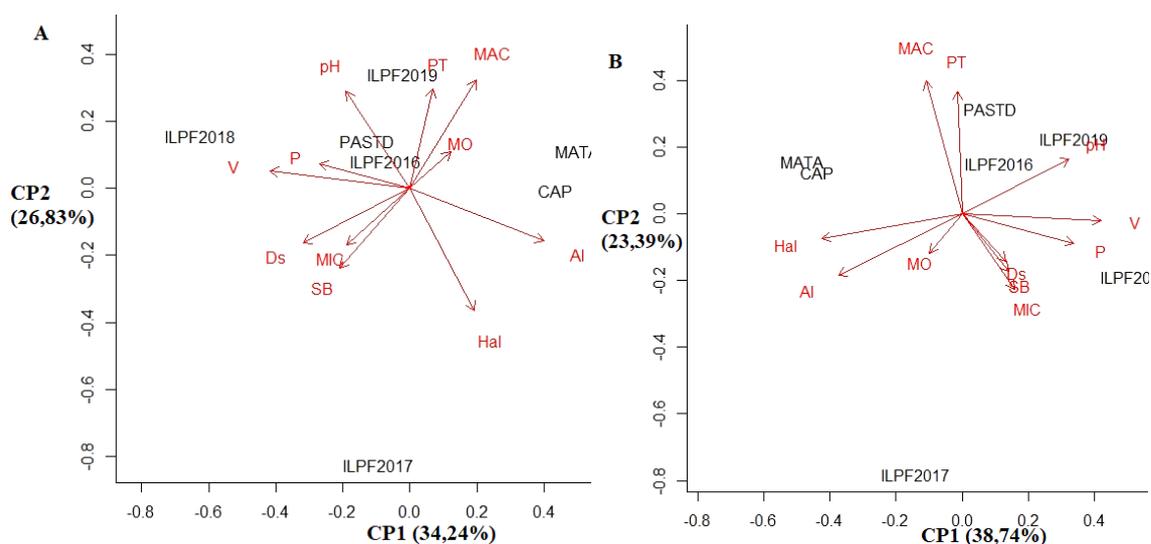


Figura 6. Biplot entre a relação de atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (A) 0-10 cm e (B) 10 – 20 cm. Pindaré-Mirim, MA. Variáveis: Ds (Densidade do solo); MAC (macroporosidade); MIC (microporosidade); PT (porosidade total); pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); P (fósforo); Al (alumínio); H + Al (acidez potencial); SB (soma de bases); V% (saturação por bases). Usos do solo: ILPF (2016, 2017, 2018, 2019); PASTD (pastagem degradada); CAP (capoeira) e MATA (mata nativa) (A autora, 2020).

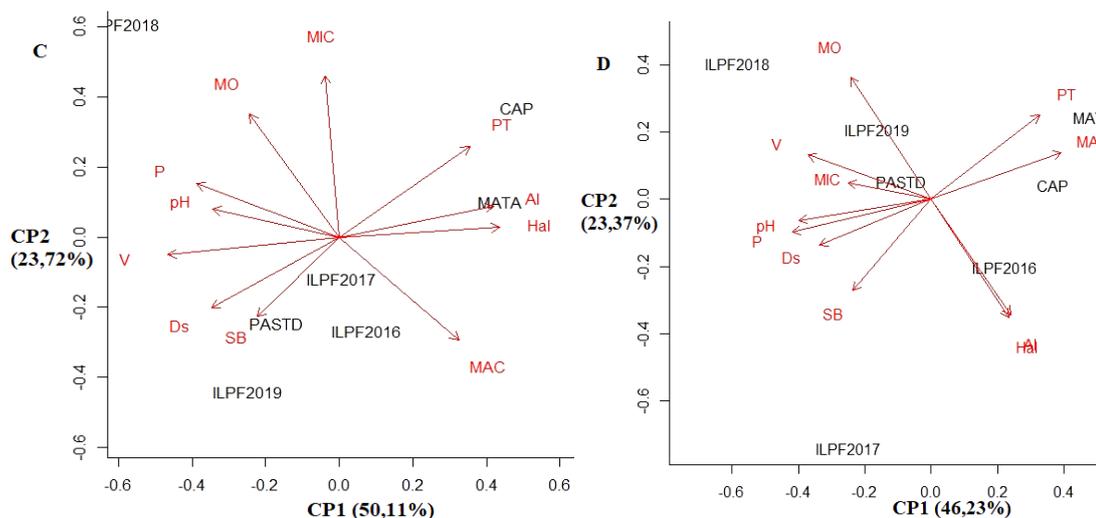


Figura 7. Biplot entre a relação de atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidades do solo (C) 20 - 30 cm e (D) 30 - 40 cm. Pindaré-Mirim, MA. Variáveis: Ds (Densidade do solo) ; MAC (macroporosidade); MIC (microporosidade); PT (porosidade total); pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); P (fósforo); Al (alumínio); H + Al (acidez potencial); SB (soma de bases); V% (saturação por bases). Usos do solo: ILPF (2016, 2017, 2018, 2019); PASTD (pastagem degradada); CAP (capoeira) e MATA (mata nativa) (A autora, 2020).

Com relação à profundidade de 20 - 30 cm destaca-se que o manejo ILPF 2018 esteve atrelado aos valores de P, MO, pH e microporosidade, que apresentavam escores positivos para o CP2 (Figura 7C). Os manejos de mata e de capoeira na profundidade de 30 - 40 cm apresentaram maiores valores de macroporosidade e porosidade total; o manejo ILPF 2018 que ficou situado no quadrante com valores negativos do CP1 e positivos do CP2 apresentou maiores concentrações de MO e V (Figura 7D). Contudo, o manejo ILPF 2017 se situou no quadrante negativo do CP1 e CP2, os quais nesta profundidade estiveram associados a menores valores de macroporosidade e porosidade total. A análise de agrupamento evidencia a dissimilaridade entre os manejos a partir da análise conjunta das variáveis físicas e químicas do solo, onde houve a formação de 4 grupos em todas as profundidades (Figura 8). Ainda, em todas as profundidades os manejos ILPF 2018 e 2017 formaram dois grupos, as áreas de mata e capoeira formam um terceiro grupo e as áreas de pastagem em ILPF 2019, ILPF 2016 e pastagem degradada formaram outro grupo. Exceto em relação à profundidade de 0 - 10 cm, o manejo ILPF 2018 apresentou maior dissimilaridade em relação à área “testemunha”, mata nativa, o que pode ser justificado pelos maiores valores de atributos químicos do solo, por outro lado o resultado obtido na profundidade de 0-10 cm para ILPF2017 pode ser justificado aos menores valores obtidos para macro, microporosidade e porosidade total (Figura 4).

Outro resultado que pode ser evidenciado quando se analisa os atributos físicos e químicos do solo é que não houve diferença entre a introdução da pastagem em ILPF (2016)

com a pastagem degradada, e que o uso da pastagem em ILPF (2019) sem a reposição de nutrientes (adubação) e por dois anos consecutivos se equivaleu aos atributos de solo (físicos e químicos) quando do início da introdução do sistema (ILPF 2016 e pastagem degradada) (Figura 5). Em trabalho avaliando diferentes sistemas de uso do solo (áreas de agricultura e área de referência – Caatinga), Arcoverde et al. (2019) citam que as análises de componentes principais e de agrupamento permitiram a identificação de diferentes sistemas de produção em profundidade subsuperficiais.

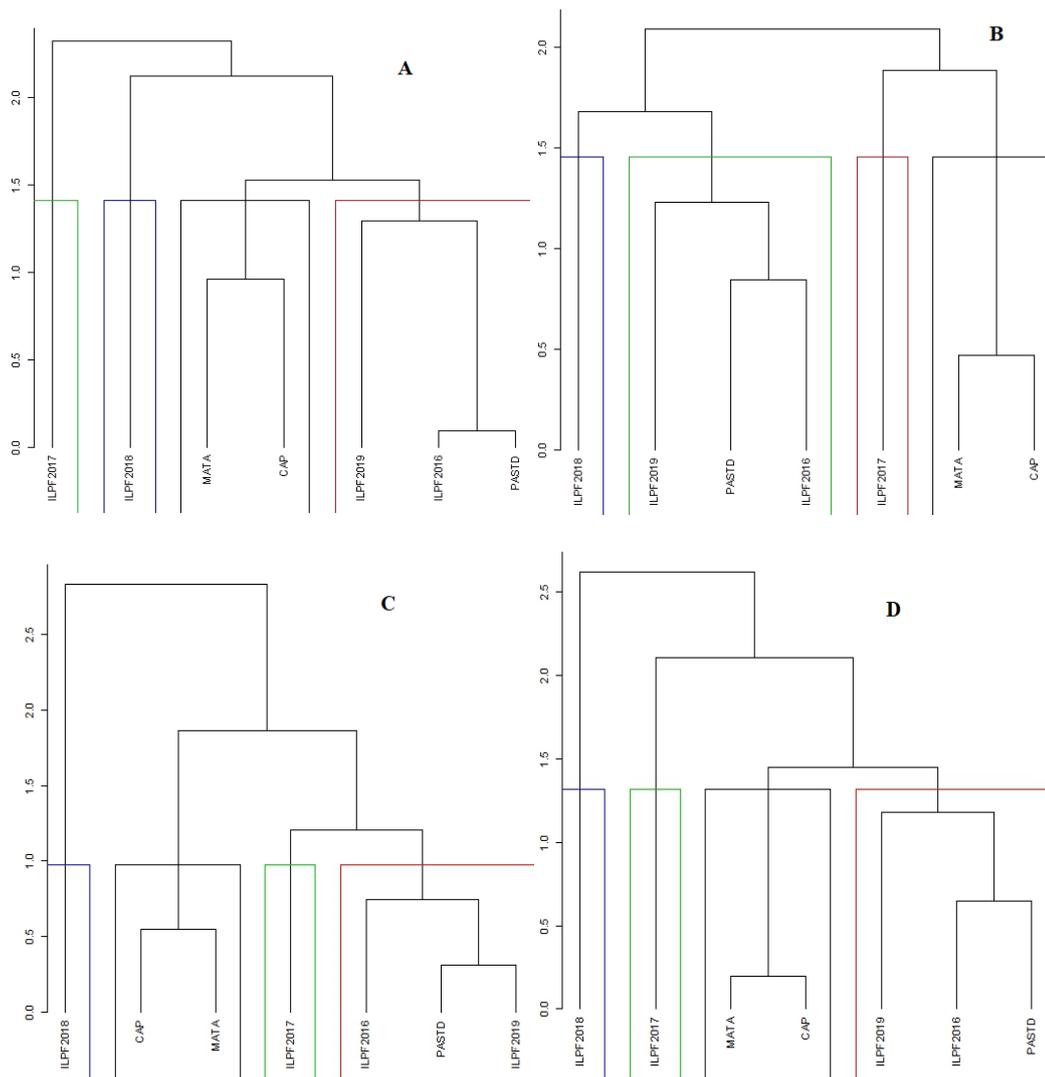


Figura 8. Dendrograma de dissimilaridade dos atributos físicos e químicos do solo e área de mata nativa, pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidade do solo (0-10 A, 10-20 B, 20-30 C e 30-40 D cm). Pindaré-Mirim. Usos do solo: ILPF (2016, 2017, 2018, 2019); PASTD (pastagem degradada); CAP (capoeira) e MATA (mata nativa) (A autora, 2020).

4.4 Discussão

A densidade não diferiu estatisticamente nas profundidade de 0-10 e 10-20 cm. Barros et al. (2018), ao estudarem um Latossolo Amarelo coeso sob diferentes modalidades de sistema

ILPF e monocultura de pastagem, também observaram que a densidade do solo não foi afetada em função do uso da terra. Entretanto, os valores de densidade encontrados neste estudo estão abaixo dos valores críticos para desenvolvimento das culturas, segundo Reinert e Reichert (2006) os valores de densidade que podem oferecer riscos ao desenvolvimento radicular situam-se em torno de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos arenosos e $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos, o solo em estudo é de textura média, apresentando valores gerais entre $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 4).

De acordo com Silva et al. (2016) maiores valores de macroporosidade nas profundidades superficiais refletem ação positiva na estruturação de solos. Os resultados apresentados estão acima de $0,30 \text{ cm}^3/\text{cm}^{-3}$ para ILPF 2019, valor adequado para as trocas gasosas e líquidas entre o ambiente externo e o solo (REICHERT et al., 2007). Estudos realizados por Bortolini et al. (2016) sobre as propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária, constataram que o pisoteio animal não interferiu de forma negativa na macroporosidade do solo.

Os maiores valores de microporosidade para ILPF 2018 provavelmente foram influenciados positivamente pelo revolvimento inicial do solo na implantação do sistema ILPF 2016 e pela maior capilaridade de raízes da vegetação da capoeira e mata nativa e das forrageiras estabelecidas na pastagem degradada e sistema ILPF 2019 (ASSIS et al., 2015; FACCIN et al., 2016).

De modo geral, observa-se que o pH não variou muito, ficando entre 4,5 a 5,6 entre os manejos de ILPF. Essa pouca variação de pH mostra que esse sistema está sob efeito da calagem realizada no início da implantação do experimento para correção da acidez. Para Reis et al. (2018) essa acidificação pode ser decorrente da aplicação dos fertilizantes ao solo.

A superioridade do pH e V para o ano de 2018 em relação a aplicação do calcário que foi realizada em 2016 pode ser justificada pelo tempo necessário para que a reação de neutralização ocorra, o que leva em consideração a granulometria do calcário, as concentrações de CaO e MgO, além da forma de incorporação do mesmo (RAIJ, 2011). Em estudos sobre os atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo Carvalho et al. (2015) encontraram aumento nos valores de saturação por base (V%) estando relacionado ao aumento do pH. Os maiores teores de bases e a V% na pastagem degradada deve-se à adição de bases ao solo por meio das queimadas nessa área, sendo um benefício passageiro que não assegura o aumento da fertilidade química ao longo do tempo (GARCIA, 2015).

Contudo, mesmo havendo extrações de nutrientes com o cultivo do milho e posterior pastejo dos animais pode haver melhoria na fertilidade, em razão do acúmulo de matéria orgânica no solo pela presença de forrageiras (FLORES et al., 2008), mesmo com a aplicação

de fertilizantes nitrogenados, os quais contribuem para a acidificação do meio (solo). Ainda, Bonini et al. (2016) mencionam que os efeitos residuais de uma boa calagem são verificados por mais de 2 anos, os teores de matéria orgânica e fósforo, na camada de 0-20 cm aumentam, corroborando os resultados verificados neste trabalho.

Não houve diferença significativa entre a pastagem degradada e o sistema ILPF na camada de 20-30 cm para o atributo P, alterações químicas do solo em sistemas integrados resultam do elevado acúmulo de resíduos vegetais sobre sua superfície do solo, o que pode ser decorrente da implantação de forrageiras que, após a decomposição, proporcionam aporte de nutrientes ao sistema (COSTA et al., 2015), todavia, para a camada de 30-40 cm os valores de MO e P foram melhores no manejo de ILPF, possivelmente o aporte de biomassa das raízes em profundidade contribuiu para uma maior estruturação e acúmulo de matéria orgânica e P em profundidade.

As análises de componentes principais e de agrupamentos foram eficientes em apresentar as diferenças dos manejos avaliados (em cronosequência), ou seja, a área de pastagem em ILPF 2018 esteve atrelada a maiores valores de atributos químicos do solo e microporosidade, contudo a pastagem em ILPF 2017 apresentou menores valores para os atributos físicos (PT e MAC), além da área de mata nativa e capoeira estarem atreladas as maiores concentrações de Al; situação análoga na Caatinga também foi verificada avaliando atributos químicos e físicos do solo, com ferramentas multivariadas em diferentes sistemas de produção (Arcoverde et al., 2019).

Marin (2002) afirma que mudanças nos atributos do solo, principalmente químicos, ocorrem em maior espaço de tempo sugerindo um tempo a partir de 10 anos para que sejam observadas maiores alterações.

4.5 Conclusão

O sistema ILPF promoveu um incremento nos atributos químicos do solo, sobretudo nas profundidades superficiais, com efeito gradativo ao longo da cronosequência. ILPF (2018), apresentaram menores valores de macroporosidade e maiores valores de microporosidade, contudo percebe-se um aumento dessa qualidade física com o estabelecimento da pastagem.

O uso da área de pastagem em ILPF (2019) por dois anos sem reposição de nutrientes apresentou atributos do solo similares a pastagem degradada e quando do início da introdução do ILPF (2016).

Vale ressaltar que mais pesquisas, ao longo de um maior tempo, são necessárias para entender a contribuição do sistema ILPF na recuperação da qualidade do solo, uma vez que as tendências observadas nos resultados desse estudo indicam que, no longo prazo, a relação sinérgica entre lavoura e pecuária pode impulsionar a fertilidade do solo.

4.6 REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; COSTA, S.E.V.G. de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p.325-380, 2013.

ARCOVERDE, Sálvio N. S. et al. Multivariate analysis of chemical and physical attributes of quartzipsamments under different agricultural uses. **Eng. Agríc. [online]**. vol.39, n.4. 2019.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. **Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Informações Agronômicas, n. 138, p. 1-14, 2012.

BONINI, C. dos S. B.; ANDRIGHETTO, G.C. C.; MATEUS, G. P.; HEINRICHS, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R. de; MEIRELLES, G. C.; Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. Notas Científicas. **Pesq. Agropec. Bras., Brasília**, v.51, n.9, p.1695-1698, set. 2016.

BORTOLINI, D.; ALBURQUERQUE, A. J.; RECH, C.; MAFRA, L. A.; RIBEIRO FILHO, N. M. H. PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, n.1, p.60-67, 2016.

COBUCCI, T.; WRUCH, F.J.; KLUTHCOUSKI, J. et al. Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, v.28, n.240, p.25-42, 2007.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas *Bootstrap*. **Ciênc. agrotec.** [online]. 2014, vol.38, n.2, pp.109-112. 2014.

FLORES, J.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressão de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 771780, 2008.

HAVLICEK, E. **Soil biodiversity and bioindication: From complex thinking to simpleacting**. European Journal of Soil Biology, v.49, p.80-84, 2012. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf> Acesso em: 20 jan. 2020.

IBGE, **Censo agropec.** Rio de Janeiro, v. 7, p.1-108, 2017.

INPE. PRODES. **Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2017 (Km²/ano)** Disponível em:<http://www.obt.inpe.br/prodes/taxas_prodes.htm> Acesso em: 02 de Out. de 2018.

- KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, p.466, 1948.
- MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. Viçosa: UFV, 83p. Tese Doutorado, 2002.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.
- MORAES, A. de.; CARVALHO, P. C. F.; BALBINO, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. 1.ed. Viçosa-MG, 2014, p. 272-294.
- R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.49-134.
- REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria. **Universidade Federal Santa Maria**. 18 p. 2006.
- SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. da. **Adubação de pastagens em sistemas de produção animal**. 1.ed. Viçosa-MG, 311 p. 2016.
- SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista Agrotec**, v.37, n.1, p.96-104, 2016.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.
- GARCIA, U. S. Avaliação dos atributos físicos, químicos e estoque de carbono do solo em diferentes ambientes em matas de babaçu, no estado do maranhão. P. 52. (**Trabalho de conclusão de curso**) - UEMA, São Luís - MA, 2015.

5. CAPÍTULO 2 - ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM PASTAGEM CULTIVADA EM ILPF NA AMAZÔNIA MARANHENSE

RESUMO

Em decorrência da predominante prática de conversão de florestas nativas em pastagens para pecuária de corte tradicional ou em áreas agrícolas, que rapidamente atingem o estágio de degradação do solo, objetivou-se com este trabalho mensurar o teor e o estoque de carbono em pastagem inserida em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta localizado no município de Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil, em Plintossolo Argilúvico Distrófico típico. Para efeito de avaliação, o experimento contemplou dois ambientes de referência: capoeira com vegetação secundária em regeneração há aproximadamente 20 anos e mata nativa de babaçu com solos coletados antes do início do projeto; e cinco épocas de sucessão: Pastagem degradada, (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) ILPF 2016, 2017, 2018 e 2019 que foram comparados com os ambientes de referência. As amostras indeformadas para determinação das análises foram coletadas até 100 cm de profundidade, que compreendeu sete profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey (a 5 % de probabilidade). Os maiores valores de densidade do solo foram verificados nas áreas de ILPF. As concentrações de carbono foram superiores na camada superficial na área de mata nativa, contudo nas demais profundidades houve superioridade da área de pastagem em ILPF de 2018. Houve incremento de estoque C acumulado (0-100 cm) em relação à Mata Nativa com o uso da pastagem em ILPF de 2018 após o consórcio milho-capim foi de 16%. A pastagem em ILPF de 2018 incrementou o estoque de carbono (0-100 cm) em 31% em relação a pastagem degradada (2016).

Palavras-chave: Matéria orgânica. Pastagem degradada. *Urochloa brizantha*.

5.1 Introdução

O Brasil possui um cultivo de aproximadamente 117 milhões de hectares de pastagem, sendo que 70% destas apresentam algum grau de degradação (MACEDO et al., 2014). A degradação da pastagem constitui-se como um dos principais problemas agronômicos para a atividade pecuária (DIAS-FILHO, 2014), que é agravada pela falta de manutenção e manejo adequado do solo. Esses fatores podem ser minimizados com a utilização correta de plantio e manejo dessas pastagens (CARVALHO, 2017).

No município de Pindaré-Mirim e em outras regiões da Amazônia é predominante a prática de conversão de florestas nativas em pastagens para pecuária de corte tradicional ou áreas agrícolas. Segundo o projeto MapBiomas de 1985 a 2018, a cada 10 hectares desmatados na floresta, 3 são abandonados, 6 viram pasto e 1 é empregado na agricultura e todos os demais usos, como urbanização e mineração (AZEVEDO, 2019). Estima-se que até 80% das áreas desmatadas da Amazônia sejam utilizadas como pasto. Um dos impactos ambientais mais conhecidos da atividade pecuária é a emissão de gases poluentes causadores do aquecimento global, fenômeno que contribui para o aumento da temperatura média da Terra (DEUTSCHE WELLE, 2019).

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e sua influência sobre as mudanças climáticas globais suscitaram o interesse internacional sobre a dinâmica de entrada e permanência do carbono na atmosfera (FIDALGO et al., 2007). Esse aumento é decorrente das ações antrópica, do desmatamento, queimadas e das mudanças no uso da terra (SAMPAIO et al., 2008).

Uma variável de suma importância na avaliação do processo de recuperação é a matéria orgânica do solo (MOS), pois a mesma promove melhorias em atributos físicos, químicos e biológicos, dando sustentabilidade ao sistema a ser recuperado (LONGO et al., 2011). As alterações no estoque de carbono do solo são influenciadas pela matéria orgânica do solo (BALDOTTO et al., 2015). De modo geral, os maiores teores de carbono orgânico no solo são observados na camada superficial (MASCARENHAS et al., 2017; ARRUDA et al., 2015; GUAN et al., 2015), proporcionando uma melhor estruturação do solo, o que acarreta no favorecimento de uma maior taxa de infiltração e de penetração das raízes no perfil do solo (FALEIRO et al., 2008), além de diminuir a densidade do solo na camada superficial (CARVALHO et al., 2016).

Os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) são capazes de elevar em médio e longo prazo os teores de matéria orgânica, auxiliando na recuperação de solos

degradados (SILVA, 2016). Pastagens produtivas e bem manejadas são eficientes em acumular carbono (SALES, 2018), acarretando em aumento no estoque de carbono no solo, mitigando os efeitos negativos do aquecimento global (Carvalho et al. 2010).

Este estudo hipotetizou que o sistema de ILPF em substituição a pastagem degradada promove melhoria no aporte e estoque de carbono, devido ao resíduo dos plantios anteriores. O objetivo desse trabalho foi mensurar o teor e o estoque de carbono em pastagem inserida em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta localizado no município de Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

5.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica em ILPF da Embrapa Cocais, localizada na Fazenda Muniz, no município de Pindaré-Mirim, no estado do Maranhão, cujas coordenadas geográficas são: 03° 46' S (latitude) e 45° 29' W (longitude) e altitude média de 38 m. O clima regional segundo a classificação de Koppen (1948) é do tipo Aw (quente e úmido), com temperatura média anual de 26 °C, mínima de 22,3 °C e máxima de 33,5 °C. Há duas épocas bem definidas, as quais são o período chuvoso (janeiro a julho) e período seco (agosto a dezembro), e precipitação pluviométrica entre 2.000 a 2.400 mm anuais e umidade relativa do ar anual entre 79% e 82% (BATISTELA et al. 2013). O solo da área de estudo é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (EMBRAPA, 2006), com textura média, recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras baixas, com predomínio de palmácea-babaçual.

Na implantação do experimento no ano de 2016 utilizou-se o sistema Santa Fé (COBUCCI et al., 2007), em uma gleba de 3,5 há⁻¹, no qual o solo foi corrigido 90 dias antes do plantio com 1,8 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, aplicado em área total com aração, gradagem e nivelamento, sendo incorporado até 20 cm de profundidade. Para introdução do sistema ILPF foi utilizado o cultivo do milho híbrido KWS 9304 em consórcio com capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu, as quais foram realizadas simultaneamente a semeadura com 20 e 10 kg de sementes de milho e de capim por hectare, respectivamente, utilizando-se espaçamento de 0,6m x 0,3m para o milho e a forrageira como terceira caixa na plantadeira. Posteriormente, foram realizados o transplântio das mudas de eucalipto em renques aos 70 dias após plantio do milho, utilizou-se o espaçamento de 3 m x 2 m e 28 m entre fileiras duplas. Em 2017 não houve calagem do solo, e o cultivo do milho e capim foi realizado na forma de plantio direto em sulco

sobre a palhada de 2016 com a mesma quantidade de sementes e o mesmo espaçamento do ano anterior (MIRANDA et al., 2005).

Em 2018 o pasto foi dividido em doze piquetes de 2.250 m² e dois piquetes reservas de 5.000 m², que se mantiveram em pousio até o mês de novembro do mesmo ano, quando houve a entrada do primeiro lote com dez garrotes anelados, com peso médio de 250 kg e taxa de lotação de 3 UA ha⁻¹ ano⁻¹, que permaneceram até abril de 2019. No mês de maio de 2019, houve a entrada do segundo lote com 41 novilhos anelados, peso médio de 165 kg e taxa de lotação de 2,7 UA ha⁻¹ ano⁻¹. No ano de 2018 a entrada dos animais foi realizada após a coleta de solo, não havendo efeito do pastejo para esse ano. Nesses dois anos, não houve adubação do capim nos piquetes coletados. Na saída dos animais ficou um resíduo na palhada de 28 cm.

Para efeito de avaliação, o experimento contemplou dois ambientes de referência e cinco épocas de sucessão - Ambiente de referência: capoeira com vegetação secundária em regeneração há aproximadamente 20 anos, mata nativa de babaçu com solos coletados antes da implantação do sistema ILPF. Épocas: pastagem degradada (amostragem do solo em 2016 antes do experimento), ILPF 2016, 2017, 2018 e 2019 (amostragem de solo anual, realizadas no mês de junho dos respectivos anos), que foram comparados com os ambientes de referência.

Para a coleta do solo foram abertas três trincheiras de um metro quadrado por um metro de profundidade, dispostas aleatoriamente ao longo do ambiente de coleta, sendo que em cada ano eram abertas novas trincheiras nos entre renques. As amostras indeformadas para determinação das análises foram coletadas até 100 cm de profundidade, que compreendeu sete profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Foram amostradas, em cada camada, as três faces (paredes) da trincheira. Para a coleta de solo utilizou-se um coletor com anel volumétrico de aço inox com volume de 100 cm³. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme a metodologia de Teixeira et al. (2017). Ao redor das trincheiras, em todas as direções cardiais, marcou-se doze pontos equidistantes, onde realizou-se a coleta de amostras deformadas para análise de carbono. As doze amostras de solo deformadas foram combinadas em uma amostra composta para cada profundidade coletada.

O teor de carbono (C) foi determinado em amostras de solo de terra fina seca ao ar (TFSA), maceradas em gral de porcelana e passadas em peneira de malha de 60 mesh de abertura. Posteriormente, foram pesadas 0,5 g de TFSA em tubos de digestão e adicionados 5 ml de K₂Cr₂O₇ 0,167 M e 7,5 ml de ácido sulfúrico concentrado PA. Nessas mesmas condições foram realizados dois brancos somente com os reagentes, sendo 2 tubos aquecidos e não aquecidos. O conjunto de tubos contendo as amostras de solo foi levado para o bloco digestor por 30

minutos, aquecido a 170 °C. Após esse procedimento, as amostras contidas em cada tubo foram transferidas para erlenmeyer de 125 ml, usando 50 ml de água destilada. Após esfriar, foram adicionadas 4 gotas do indicador ferroin e procedido a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 M até viragem de cor verde para vermelho.

A partir dos teores totais de carbono foram calculados os estoques de carbono (Mg ha^{-1}), conforme a equação 1:

$$\text{Estoque} = \text{teor} \times \text{densidade} \times \text{espessura} \quad (1)$$

Em que:

- Teor = referente ao teor do elemento carbono no solo em %
- Densidade = densidade do solo em g cm^{-3}
- Espessura = é a espessura da camada para a qual o estoque está sendo calculado, medida em cm.

Sabe-se que os solos quando submetidos a diferentes sistemas de manejo podem ter densidades diferentes, o que implica na comparação de massas diferentes de solo quando se consideram profundidade com a mesma espessura, como as utilizadas na amostragem feita nesse estudo. Portanto, para comparar adequadamente os estoques de C entre as áreas, foi necessário fazer comparação entre massas iguais de solo, gerando a necessidade de um ajuste nos valores das profundidades utilizadas nos cálculos (Ellert e Bettany, 1995).

Esse ajuste, denominado de correção pela massa de solo equivalente, foi feito tomando a área de vegetação nativa de babaçu como referência, que consiste 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 represente a mesma massa de solo em todas as áreas. O ajuste é feito apenas na camada mais profunda para evitar a propagação de erros e a profundidade corrigida foi calculada pela equação 2.

$$\text{Profundidade corrigida (cm)} = \frac{\text{DMP}_{\text{ref}}}{\text{DMP}_{\text{corr}}} \times \text{Prof}_{\text{corr}} \quad (2)$$

Onde:

- DMP_{ref} representa a densidade média ponderada da área de referência (g cm^{-3}),
- DMP_{cor} é a densidade média ponderada da área que está sendo corrigida (g cm^{-3})
- Prof_{cor} é a profundidade original da camada que está sendo corrigida (cm).

Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014).

5.3 Resultados e Discussão

A densidade do solo não apresentou diferença entre os manejos estudados para as profundidades de 0-10, 10-20 e 40-60 cm, contudo para as profundidades de 20-30, 30-40, 60-80 e 80-100 cm o valor de densidade na área de mata foi inferior em relação aos demais manejos, exceto a capoeira, ILPF 2016 e 2019 na camada de 20-30 e 30-40 cm, exceto a capoeira e ILF 2019 na camada de 60-80 e 80-100 cm (Figura 9).

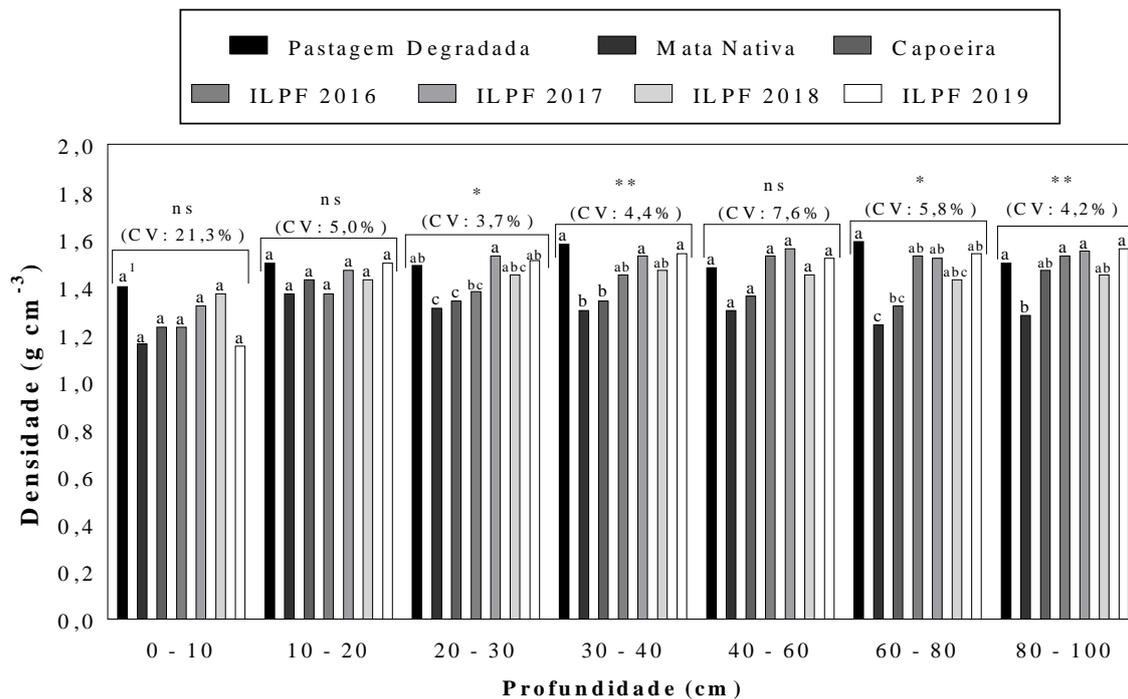


Figura 9. Valores médios de densidade do solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidade do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm).¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

Ressalta-se que em 2019 houve o pastejo de animais na área, porém a entrada de maquinário para plantio, tratos culturas e colheita do milho consorciado com forrageira pode ter contribuído, também, para aumentar a densidade do solo em relação a mata nativa e área de capoeira.

Ademias, a entrada de animais na área de pastagem justifica os maiores valores de densidade para estes manejos (ILPF). Os valores de densidade mais elevados na pastagem se justificam pela entrada de animais na área conforme Bonetti et al. (2015).

Segundo Reinert e Reichert (2006) os valores de densidade que podem oferecer riscos ao desenvolvimento radicular situam-se em torno de 1,65 g cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos, o solo da pastagem em estudo é de textura média, analisando todas

as profundidade de ILPF 2019 encontramos valores entre $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, apresentando valores dentro dos limites restritivos de desenvolvimento radicular da pastagem.

Solos submetidos a plantio direto tendem com o passar do tempo a diminuir a densidade nas profundidade mais superficiais do solo, isso se deve ao aumento do teor de matéria orgânica. Rossetti e Centurion (2015), ao quantificar estoques de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em uma cronossequência sob diferentes manejos, constataram aumento de Ds em profundidade atribuído aos baixos valores de resíduos vegetais.

Os teores de carbono orgânico no solo apresentaram maiores concentrações na mata nativa na camada superficial (0-10 cm), com $1,27 \text{ g kg}^{-1}$ de C, sendo superior a pastagem em ILPF de 2017 e de 2019. Contudo nas profundidade de 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 destaca-se o manejo da pastagem em ILPF 2018, o qual foi superior a capoeira e a pastagem em ILPF de 2016 e 2017 para a camada de 20-30 cm, foi superior a pastagem em ILPF de 2016 e 2017 para a camada de 30-40 cm, foi superior aos demais manejos na camada de 40-60 cm, foi superior a pastagem degradada, capoeira, pastagem em ILPF de 2016 e 2017 na camada de 60-80 cm e foi superior a pastagem degradada e a pastagem em ILPF de 2016 e 2017 na camada de 80-100 cm (Figura 10).

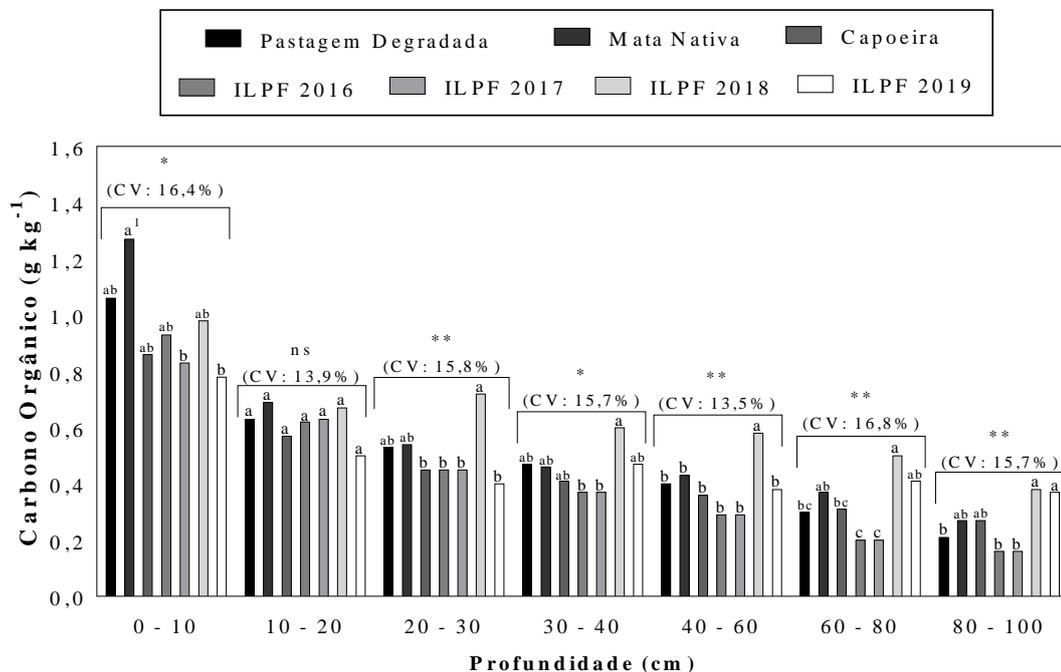


Figura 10. Valores médios de teor de carbono em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidade do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm).¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

A superioridade da pastagem em ILPF no ano de 2018 pode ser justificada pelo acúmulo de massa proveniente do milho consorciado com capim cultivado no ano anterior (2017),

somado ao não cultivo de cultura anual e conseqüente não revolvimento do solo. Os menores valores em ILPF 2019 se comparado com ILPF 2018 podem ser justificar pela não reposição de nutrientes via adubação, além de 2019 ser o ano de efetivo pastejo pelos animais.

De acordo com Loss et al. (2014) sistemas de ILPF implantados na Região Amazônica comprovam que a introdução de espécies florestais em consórcio com culturas anuais e forrageiras pode ser boa opção para sequestrar carbono, melhorar a qualidade do solo e contribuir para a mitigação do aquecimento global em médio e longo prazo.

Estudos realizados por Arruda et al. (2015) e Gazolla et al. (2015), relatam que o conteúdo de carbono orgânico do solo é maior próximo da superfície, por causa dos aportes de matéria orgânica ocorridos via cobertura vegetal, demonstrando a importância e forte influência do tipo de manejo na deposição de resíduos vegetais provenientes das culturas agrícolas para o acúmulo de COS (SACRAMENTO et al., 2013). Segundo Resende et al. (1999), pastagens bem manejadas e produtivas sequestram mais carbono da atmosfera e são ambientalmente mais sustentáveis.

A diminuição do conteúdo de resíduos vegetais em profundidade, menor atividade de organismos decompositores nas profundidades mais profundas e menor taxa de decomposição e mineralização acarreta na diminuição dos teores de COT (carbono orgânico total) (GAZOLLA et al., 2015). Solos sob sistema de plantio direto a concentração de COS é maior perto da superfície, porém diminui com o aumento da profundidade (CORBEELS et al., 2016). Fator este que pode estar relacionado com acúmulo do teor de carbono encontrado nesse experimento, pois práticas como o plantio direto mantêm o solo coberto e protegido, aumentando a umidade, acelerando a decomposição dos resíduos vegetais e favorecendo o aporte de C também em profundidade, assim como encontrado nas profundidades de 20 até 100 cm.

Segundo Prasad et al. (2016) as alterações no COT ocorrem de três a cinco anos após a mudança no sistema de manejo, vale ressaltar que em 2016 e 2017 no plantio em consórcio do milho com a forrageira foi utilizado o sistema de plantio direto, fator esse que favoreceu maior acúmulo de matéria orgânica na área de pastagem do sistema ILPF 2018, sendo capaz de aumentar o teor de carbono no solo com o passar dos anos.

Com relação ao estoque de C verifica-se que para a camada superficial (0-10 cm) a área de mata foi superior a área de capoeira e pastagem em ILPF de 2017 e 2018 (Figura 11). Porém nas profundidades de 20 a 100 cm de profundidade os maiores estoques foram observados na área de pastagem em ILPF de 2018, o qual não diferiu da área de mata; contudo na camada de 20-30 cm houve superioridade em relação aos manejos capoeira e pastagem em ILPF de 2016 e 2017; na camada de 30-40 e 40-60 cm houve superioridade em relação a pastagem em ILPF

de 2016 e 2017; na camada de 60-80 houve superioridade em relação a pastagem degradada, capoeira e pastagem em ILPF de 2016 e 2017; e na camada de 80-100 houve superioridade em relação a pastagem degradada e pastagem em ILPF de 2016 e 2017 (Figura 11).

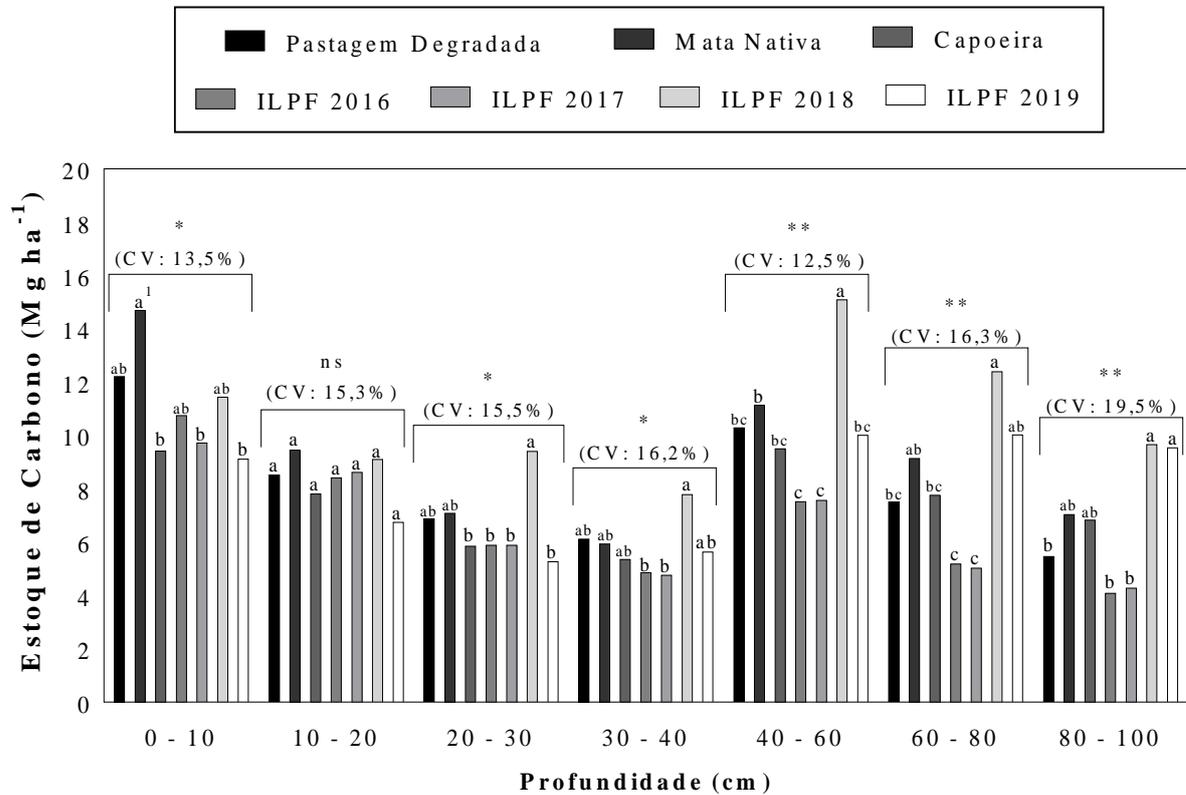


Figura 11. Valores médios de estoque de carbono no solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e ILPF (2016 a 2019) em diferentes profundidade do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm).¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

Os sistemas de manejo que adicionam matéria orgânica ao solo via resíduos vegetais promovem o aumento do estoque de carbono no solo (RANGEL et al., 2008), ressaltando que o monitoramento da matéria orgânica do solo a longo prazo é essencial para determinar as alterações do estoque de carbono, que muitas vezes são perceptíveis somente após vários anos ou décadas (PERALTA e WANDER, 2008). Essa palhada tem a capacidade de elevar os níveis do estoque de carbono no solo, com isso as perdas pelas práticas de cultivo podem ser minimizadas (SOUZA et al., 2009).

Nesse mesmo sentido, Rossetti e Centurion (2015) ao avaliarem o estoque de carbono em cronossequência, indicaram declínio no estoque de carbono na medida em que se aumenta a profundidade. Grande parte do carbono estocado em profundidade vem do carbono radicular, que é a principal entrada de carbono nas profundidade mais profundas do solo (SCHMIDT et al., 2011).

O estoque de carbono nas pastagens é devido à deposição da biomassa de 83% do sistema radicular das gramíneas, as quais são encontradas nos primeiros 30 cm do solo (MARTINEZ et al., 2016). Entretanto, esse sistema radicular quando bem desenvolvido é capaz de alcançar elevadas profundidades (STUMPF et al., 2016). Assim, os exsudados das raízes, a sua decomposição e a renovação desse sistema radicular ocorrem em profundidade maiores que 30 cm, o que explica o acúmulo do estoque de carbono nas profundidade de 20 cm até a camada de 100 cm.

Em pesquisa realizada por Linhares et al. (2016), considerando as profundidades de 0-10 e 10-20 cm solo, os maiores valores de estoque de carbono foram observados na floresta nativa. Sales (2018) encontrou teores e estoques de carbono orgânico na pastagem semelhante à floresta secundária. Costa et al. (2009) explicam que solos sob pastagens apresentam estoque de carbono iguais ou superiores aos encontrados em ambiente de mata nativa devido ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelas raízes.

Considerando o estoque de C acumulado em 0-100 cm verifica-se que o uso da pastagem em ILPF do ano de 2018, incrementou o estoque C com valores superiores a pastagem degradada, capoeira e aos próprios sistemas de consórcio milho-capim (ILPF 2016 e 2017), e pastagem em 2019 a qual foi utilizada para pastejo após o cultivo do milho consorciado com capim não diferiu da área de Mata Nativa (Figura 12).

Conforme justificado anteriormente a pastagem em ILPF 2019 não apresentou resultados semelhantes ao ano anterior, provavelmente pela não reposição de nutrientes, ainda a superioridade da pastagem em ILPF de 2018 resulta do acúmulo de biomassa proveniente do plantio do milho consorciado em 2017, além do resíduo da fertilização realizada na cultura do milho. Ademais, a correção do solo foi realizada em 2016 (aplicação de calcário) e os efeitos provenientes desta prática também podem ter contribuído para incremento da produção de massa do capim em 2018.

O uso exclusivo da forrageira como pasto após o consórcio milho-capim incrementa os estoques de C em profundidade, sendo estratégia interessante como sumidouro de carbono. O incremento de estoque C acumulado (0-100 cm) em relação a Mata Nativa com o uso da pastagem em ILPF de 2018 após o consórcio milho-capim foi de 16% (Figura 12).

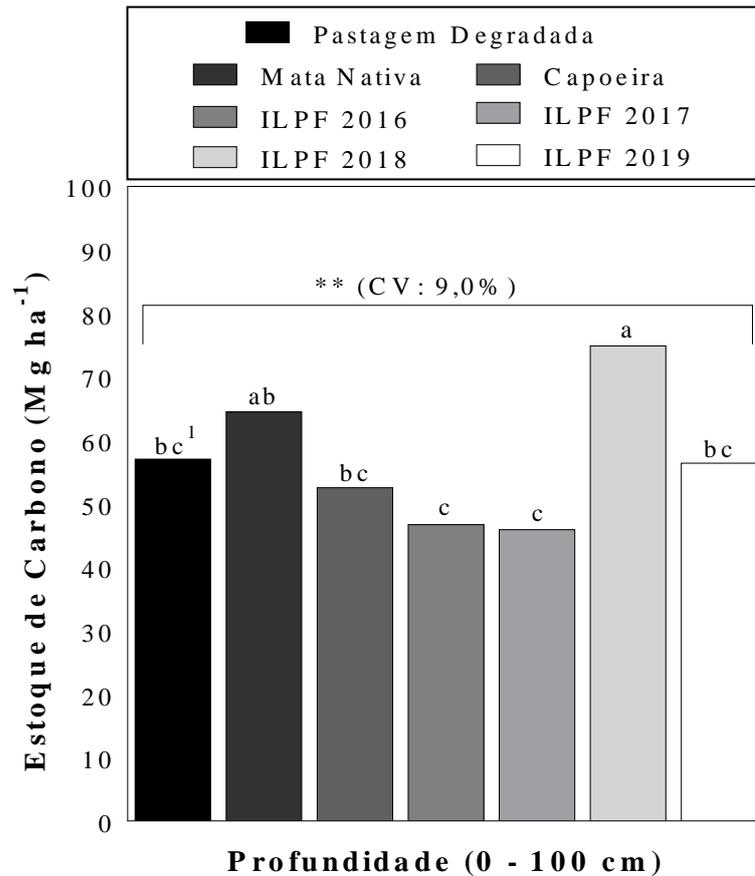


Figura 12. Estoque de carbono acumulado no solo em área de pastagem degradada, mata nativa, capoeira e pastagem em ILPF (2016 a 2019) em camada do solo de 0-100 cm.¹Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (A autora, 2020).

É importante ressaltar o efeito benéfico da utilização de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na recuperação de áreas degradadas, pois indicaram resultados positivos nos estoques de carbono orgânico. A pastagem degradada teve um acúmulo de 57,02 Mg ha⁻¹ de estoque de C, contudo a pastagem quando conduzida em ILPF (2018) apresentou um acúmulo de 74,90 Mg ha⁻¹, o que remete a um incremento de 31% no estoque de C, para um ganho anual de 5,96 Mg ha⁻¹ (2016 a 2018).

Melo (2003), ao avaliar o estoque de carbono em solos do Estado do Acre identificou os estoques médios de 66 Mg ha⁻¹ nas profundidade 0-100 cm para os solos analisados. No nordeste do Espírito Santo Campos (2003), ao estudar um Latossolo identificou que o estoque de carbono nos primeiros 100 cm de profundidade na área de mata foi de 62 Mg Mg ha⁻¹ e na área de pasto foi de 70,8 Mg Mg ha⁻¹. Valores razoáveis se comparados com os resultados deste estudo onde foi encontrado um acúmulo de 64,52 Mg ha⁻¹ na mata nativa e a maior média foi em ILPF 2018 com 74,90 Mg ha⁻¹.

O manejo da pastagem em ILPF de 2018 elevou os níveis de sequestro de carbono no solo se comparado com a da pastagem degradada. Cerri et al. (2018) identificaram aumento do

sequestro de carbono no solo após o processo de recuperação e melhoramento de pastagens na Amazônia. Costa et al. (2009) explicam que solos sob pastagens apresentam estoques de C iguais ou superiores aos encontrados em ambiente de mata nativa devido ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelas raízes.

Provavelmente o estoque de carbono acumulado no sistema ILPF foi afetado pelo manejo adotado durante a implantação, as operações de aração, gradagem e nivelamento, quando o revolvimento do solo permitiu a rápida decomposição da matéria orgânica pela exposição da mesma e da maior atividade respiratória microbiana (ILPF 2016), assim como também observaram Matias et al. (2009). Demonstrando que a pastagem cultivada e manejada da forma correta pode manter o nível do estoque de carbono nas profundidade entre 0 a 100 cm do solo. Entretanto, segundo Leite et al., (2012) para estimar os efeitos do uso da terra sobre o estoque de carbono no solo é necessário experimentos capazes de fornecer dados durante muitos anos.

5.4 Conclusão

Em relação e ao estoque de carbono, a mata nativa apresentou maiores acúmulos na camada 0-10 cm, para as demais profundidade a pastagem em ILPF 2018 foi a que atingiu as maiores quantidades de carbono, seguido pelo ILPF 2019 na camada de 80-100 cm. A pastagem do sistema ILPF 2018 proporcionou melhoria no estoque de carbono no solo quando comparados à mata nativa, tendo um incremento de 16,09% na pastagem, sendo indicado seu cultivo na recuperação de áreas degradadas.

O sistema ILPF aumenta o estoque de carbono no solo ao longo do tempo, sendo observado, neste estudo, incremento de até 31% em relação a pastagem degradada, em 100 cm de profundidade do solo. Contudo, a pastagem inserida no sistema ILPF com o passar dos anos podem armazenar carbono no solo.

5.5 Referências

ARRUDA, E.M.; ALMEIDA, R.F.; SILVA JUNIOR, A.C.; RIBEIRO, B.T.; SILVA, A.A.; LANA, R.M.Q. Aggregation and organic matter content in different tillage systems for sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.4, p.281-288, 2015.

AZEVEDO, A. L. **Na contramão do resto do país, abertura de pastagens cresce na Amazônia, diz MapBiomias**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/na-contramao-do-resto-do-pais-abertura-de-pastagens-cresce-na-amazonia-diz-mapbiomas-23912414>> Acesso em: 15 dez 2019.

BALDOTTO, M.A.; VIEIRA, E.M.; SOUZA, D.O.; BALDOTTO, L.E.B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015.

BONETTI, J. de A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. de; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, G.N. da. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.104-112, 2015.

CAMPOS, D. V. B. Uso da técnica 13C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da mata atlântica. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 220 p. 2003.

CARVALHO, J. dos S.; KUNDE, R. J; STÖCKER, C. M.; LIMA, A. C. R. de; LIMA, J. L. S. da LIMA. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa agropecuária brasileira**. vol.51 no.9 Brasília Sept. 2016.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. & CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:277-289.2010.

CARVALHO, W. T. V. et al. **Pastagens degradadas e técnicas de recuperação**: Revisão. *Pubvet*, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; CHERUBIN, M. R.; FEIGL, B. J.; LAL, R. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 989-1007, 2018.

COBUCCI, T.; WRUCH, F.J.; KLUTHCOUSKI, J. et al. Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, v.28, n.240, p.25-42, 2007.

CORBEELS, M.; MARCHAO, R. L.SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, n. 6, article 21450, 2016. COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Soil carbon stocks under pasture in costal tableland areas in southern Bahia state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, v.33, n.5, pp.1137-1145, 2009.

DEUTSCHE WELLE. **Recuperar áreas de pastagem pode reduzir emissões de gases e impactos da pecuária para o clima, diz estudo**.13/09/2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/09/13/recuperar-areas-de-pastagem-pode-reduzir-emissoes-de-gases-e-impactos-da-pecuaria-para-o-clima-diz-estudo.ghtml>> Acesso em: 20 dez 2019.

DIAS-FILHO, M.B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. In: SAMBUICHI, R. H. R. et al. (Org.). **Políticas**

agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas. Brasília, DF: Ipea, p. 149-169, 2014.

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

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Brasília: Sistema de Produção de Informação, 306p., 2006.

FALEIRO, F. G.; FARIAS, A. L. N. **Savanas:** desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Cap. 14, Embrapa Cerrado, Planaltina – DF, 2008. FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência &Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez., 2011.

FIDALGO, E. C. C. et al. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Dados GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GUAN, F.; TANG, X.; FAN, S.; ZHAO, J.; PENG, C. Changes in soil carbon and nitrogen stocks followed the conversion from secondary forest to Chinese fir and Moso bamboo plantations. **Catena**, v.133, n.22, p.455-460, 2015.

KOPPEN, W. **Climatologia**. Mexico: Fundo de Cultura Economica, p.466, 1948. LINHARES, J, M, S.; BASTOS, W, R.; Júnior, R, F, S.; OLIVEIRA, C, S. (93 - 117). Attributes of variability physical and chemical and organic carbon stocks in red under ultisolul agroforestry systems in settlement umari amazon south. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.10, n.1 (xiii. 2016).

LEITE, L. F. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; LIMA, M. A.; MADARI, B. E. Simuladores computacionais para o estudo da dinâmica de carbono e de nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuária. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; Segundo URQUIAGA. Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I.; MELO, W.J.de. **Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica**. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p.139-146, 2011.

LOSS, A.; RIBEIRO, E.C; PEREIRA, M.G; COSTA, E.M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1347-1357, 2014.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAUJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: Encontro de adubação de pastagens da scot consultoria - tec - fértil, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, p.158-181, 2014.

MARTINEZ, C.; ALBERTI, G.; COTRUFO, M. F. Belowground carbon allocation patterns as determined by the in-growth soil core ^{13}C technique across different ecosystem types. *Geoderma*, v. 263, p. 140–150, 2016.

MASCARENHAS, A.R.P.; SCCOTI, M.S.V.; MELO, R. R. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.37, n.89, p.19-27, 2017.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C. & ARAÚJO, A.S.F. Microbial biomass and C and N stocks in soil under different management systems in the ‘Cerrado’ of Piauí State. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31:517-521, 2009.

MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**, M.S. thesis, 74 pp., University of São Paulo, Piracicaba, SP. 2003.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

PERALTA, A.L.; WANDER, M.M. Soil organic matter dynamics under soybean exposed to elevated $[\text{CO}_2]$. *Plant Soil*, v.303, p.69-81, 2008.

PRASAD, J.V.N.S.; SRINIVASA RAO, C.H.; SRINIVAS, K.; NAGA JYOTHI, C.H.; VENKATESWARLU, B., RAMACHANDRAPPA, B.K.; DHANAPAL, G.N.; RAVICHANDRA, K.; MISHRA., P.K. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. *Soil and Tillage Research*, v. 156, p. 131–139, 2016.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ci. Agrotecnol.*, 32:429-437, 2008.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria. **Universidade Federal Santa Maria**. 18p. 2006.

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

SACRAMENTO, J.A.A.S. et al. Estoques de carbono e nitrogênio do solo em sistemas agrícolas tradicionais e agroflorestais no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 784-795, 2013.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C., et al. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. *Colloquium Agrariae*, v. 14, n.1, Jan-Mar. 2018, p.01-15.

SAMPAIO, G., MARENGO, J., NOBRE, C. A atmosfera e as mudanças climáticas. In BUCKERIDGE, M.S. **Biologia & Mudanças climáticas no Brasil**. São Carlos: RiMa Editora. p.5-28, 2008.

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56., 2011.

SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista Agrotec**, v.37, n.1, p.96-104, 2016.

SOUZA E. D.; COSTA S. A.; ANGHINONI I.; CARVALHO P. C.; ANDRIGUETI M.; CAO E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Rio Grande do Sul, v. 33, p. 1829-1836, set/ago. 2009.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; PINTO, M. A. B.; JUNIOR DUTRA, A. L.; SCHEUNEMANN, T. Sistema radicular da urochloa brizantha: desenvolvimento e influência nos atributos de um solo degradado. **Interciencia**, vol. 41, núm. 5, mayo, pp. 334-339 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela, 2016.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

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