



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO-UEMASUL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS-CCA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

FRANCINALDO SANTOS BATISTA

**ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS NO SOLO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA FLORESTA**

Imperatriz – MA
2022

FRANCINALDO SANTOS BATISTA

**ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS NO SOLO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA FLORESTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do
Maranhão como requisito básico para a conclusão do
Curso de Engenharia Agrônômica.

Orientador:

Prof^o Ma. Geslanny Oliveira Sousa

Imperatriz - MA
2022

Ficha catalográfica

B333a

Batista, Francinaldo Santos

Alterações físicas e químicas no solo em integração lavoura pecuária floresta. / Francinaldo Santos Batista. – Imperatriz, MA, 2023.

31 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2023.

1. Solos. 2. Pastagens. 3. Lavoura-pecuária-floresta. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.4:633.2

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS NO SOLO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA -
PECUÁRIA - FLORESTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do
Maranhão como requisito básico para a
conclusão do Curso de Engenharia
Agrônômica.

Data de aprovação: 22/03/2022

Banca Examinadora

Geslanny Oliveira Sousa

Profa. Ma. Geslanny Oliveira Sousa – Membro
Mestre em Agricultura e Ambiente
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
(Orientadora)

Wilson Araújo da Silva

Prof. Dr. Wilson Araújo da Silva – Orientador
Dr. em Agronomia Ciências do Solo
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
(Membro 1)

Kalindy M. S. Monteiro

Profª M.a. Kalindy M. S. Monteiro
Mestre em Ciências Florestais e Ambientais

(Membro 3)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde. Ao meu pai Francisco Batista Neto, minha mãe Maria da Conceição Santos Batista, a minha esposa Betânia dos Santos Silva, e principalmente ao meu filho João Lucas dos Santos Batista.

A professora Geslanny Oliveira Sousa, minha orientadora, pelas correções e incentivos.

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, pela oportunidade da realização desse trabalho, onde estendo o agradecimento a todo corpo docente integrante do Programa.

Aos meus professores que sempre me incentivaram, aos meus colegas de turma, e por fim a todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento. A todos, meu muito obrigado!

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. Ressalta-se que no Sudoeste do Estado do Maranhão grande parte dos solos das propriedades rurais encontra-se degradados e em diferentes estádios de erosão, uma vez que têm sido explorados por décadas com pastagens implantadas sem a utilização de medidas conservacionistas, o que levou ao atual quadro de degradação e baixa produtividade. Objetivou-se com este trabalho salientar sobre a importância das alterações físicas e químicas no solo, em pastagens em integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia maranhense. Foi realizada um levantamento bibliográfico com consulta a livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nos seguintes bases de dados: Google Acadêmico; Scielo e Portal de Periódicos Capes. Diante das condições de degradação das pastagens maranhenses e da ampla distribuição das matas de babaçu no estado do Maranhão, o uso de tecnologia poderia ser capaz de recuperar essas pastagens, abrangendo uma pecuária que seja economicamente produtiva e ecologicamente sustentável. Porém, pesquisas com esse tema se fazem necessárias para enfatizar sobre a eficiência dos benefícios para as propriedades físicas e químicas do solo nessa região.

Palavras-Chave: Matéria orgânica. Sistemas Integrados. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

The intensive use of land has accelerated the loss of soil quality, a process that can be avoided by adopting conservationist production systems, such as the Integrated Crop-Livestock-Forest – ILPF system. It is noteworthy that in the Southwest of the State of Maranhão most of the soils of rural properties are degraded and in different stages of erosion, since they have been exploited for decades with pastures implanted without the use of conservation measures, which led to the current picture of degradation and low productivity. The objective of this work was to emphasize the importance of physical and chemical changes in the soil, in pastures in crop-livestock-forest integration, in the Amazon of Maranhão. A bibliographic survey was carried out with consultation of books, dissertations and scientific articles selected through a search in the following databases: Google Scholar; Scielo and Capes Periodicals Portal. Given the degradation conditions of pastures in Maranhão and the wide distribution of babassu forests in the state of Maranhão, the use of technology could be able to recover these pastures, covering livestock that is economically productive and ecologically sustainable. However, research on this topic is necessary to emphasize the efficiency of the benefits for the physical and chemical properties of the soil in this region.

Keywords: Organic matter. Integrated systems. Soil fertility.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos.....	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 Amazônia Maranhense	12
4.2 Degradação das Pastagens e Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	14
4.3 Dinâmica de Carbono no Solo	16
4.4 Atributos Físicos do Solo e Alterações por Sistemas Integrados	19
4.5 Atributos Químicos do Solo e as Alterações por Sistemas Integrados	21
REFERÊNCIAS	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com a distribuição dos biomas localizados no território maranhense.....	12
Figura 2. Tipos de Sistemas Integrados.....	16

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 enfatizar sobre a importância das alterações físicas e químicas no solo, em pastagens em integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia maranhense e os benefícios desse sistema para o solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Salientar sobre a importância das alterações físicas e químicas no solo, em 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 sistema ILPF;
- Enfatizar sobre as características físicas do solo em sistemas integrados.
- Ressaltar as qualidades químicas do solo em sistema de ILPF e a importância do carbono no solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão de literatura, sobre alterações físicas e químicas no solo, em pastagens em integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia maranhense. Segundo Lakatos e Marconi (2010), a finalidade da pesquisa bibliográfica é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi já estudado, escrito e publicado sobre um tema específico. A revisão é um método amplo que descreve e busca discutir o desenvolvimento de um determinado assunto sob um ponto de vista teórico ou contextual.

Como critério de inclusão, foram considerados artigos científicos disponíveis online no periódico Capes, Google Acadêmico, revistas no idioma português, espanhol, inglês. Além disso, os estudos escolhidos deveriam apresentar as seguintes condições:

Abordagem sobre o histórico de desmatamento da Amazonia maranhense;

Apresentar informações ao leitor sobre a degradação de pastagem em sistema ILPF;

Abordar sobre a dinâmica do carbono no solo;

Enfatizar sobre os atributos físicos e químicos do solo e alterações por sistemas integrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 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).

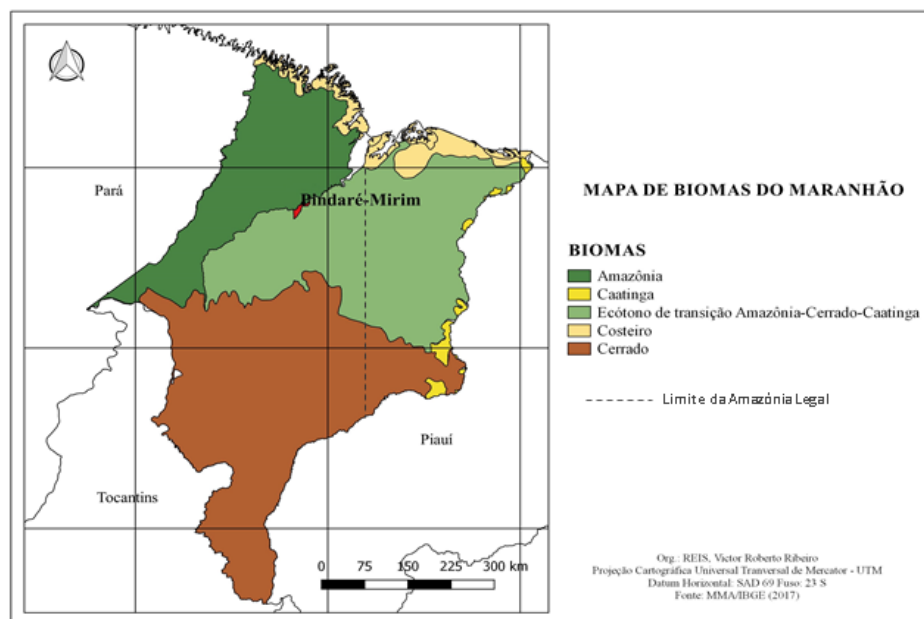


Figura 2. Mapa com a distribuição dos biomas localizados no território maranhense. Fonte: IBGE (2017).

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).

4.2 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 Silvípastoril, 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.



Figura 2. Tipos de Sistemas Integrados. Fonte: AGROPLANNING (2018).

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.

4.3 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).

4.4 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).

4.5 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).

5 CONCLUSÃO

A matéria orgânica do solo é um dos maiores reservatórios de carbono terrestre, e pode ser compreendida como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é conduzida pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela transformação contínua sob ação de fatores, químicos e físicos. Com desenvolvimento dessa revisão pode-se observar que o sistema de ILPF é uma alternativa viável, e que traz valiosos benefícios para a pecuária, como, melhoria do bem estar animal, diminuição da emissão de gases causadores do efeito estufa.

Diante das condições de degradação das pastagens maranhenses e da ampla distribuição das matas de babaçu no estado do Maranhão, o uso de tecnologia poderia ser capaz de recuperar essas pastagens, abrangendo uma pecuária que seja economicamente produtiva e ecologicamente sustentável. Entretanto, pesquisas com esse tema se fazem necessárias para enfatizar sobre a eficiência, a curto e longo prazo, da adoção dessa tecnologia no sequestro de carbono e na qualidade da matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS

- AGROPLANNING. **Rede ILPF vira Associação e ganha novas adesões**. Disponível em: <https://www.agroplanning.com.br/2018/04/05/rede-ilpf-vira-associacao-e-ganha-novas-adesoes/>. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.
- 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 Agronômicas**, 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 Distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

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: 15 de dezembro de 2021.

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 subtropico 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: 22 de janeiro de 2022.

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 2022.

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-CNPAP, 1991. 20 p. (EMBRAPA-CNPAP. 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 Agrônômica**, 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: 55º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2017, Santa Maria. **Anais...** 55º 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 lavourapecuária. **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 lavourapecuária-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.

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).

TRECENTI, 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.