

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
CURSO DE AGRONOMIA

VICTOR GABRIEL PINHEIRO DE ARAÚJO LIMA

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

SÃO LUÍS – MA

2022

VICTOR GABRIEL PINHEIRO DE ARAÚJO LIMA

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

SÃO LUÍS – MA

2022

Lima, Victor Gabriel Pinheiro de Araújo.

Atributos do solo em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada
/ Victor Gabriel Pinheiro de Araújo Lima. – São Luís, 2022.

42 f

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual
do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 21 /01/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Departamento de Economia Rural/CCA/UEMA



Dr. Joaquim Costa Bezerra
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA



Dr. Vinícius Idi Franzini
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Aos meus pais, Zulene e Francisco pelo amor, apoio e compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, pois sem ele esse momento não seria possível, por ter me dado coragem, perseverança e força de vontade, me proporcionando chegar a este momento e por ter me guiado todo esse tempo.

Aos meus pais, Zulene Pinheiro de Araújo Lima e Francisco Ferreira Lima, pelo amor, apoio, compreensão, por todos os sacrifícios para a chegada desse momento e por terem me ensinado a lutar por meus sonhos.

À Universidade Estadual do Maranhão – UEMA; pelo curso de Agronomia, aos professores do curso e todos os docentes que participaram do meu processo de formação acadêmica, pela oportunidade de aprendizados e conhecimentos adquiridos nesses anos.

Ao grupo GINTEGRA por ter me recebido, compartilhado o conhecimento comigo, em especial, agradeço a Maria Karoline Carvalho Rodrigues de Sousa por ter me ajudado em todos os momentos para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz, por compartilhar comigo seu conhecimento, pela dedicação, paciência e competência no suporte técnico científico, nas correções e no seu grande desempenho no papel que lhe foi designado.

Muito Obrigado.

RESUMO

Os sistemas agrossilvipastoris quando manejados adequadamente fornecem diversos serviços ecossistêmicos. Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e do componente florestal nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo, em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense. O experimento foi conduzido em 2019, na Unidade de Referência Tecnológica – URT de ILPF da EMBRAPA Cocais, em Pindaré Mirim – MA. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos e três repetições, cujas parcelas corresponderam aos níveis de adubação nitrogenada (0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) e as subparcelas, as distâncias do componente florestal (0; 3,5; 7,0; 10,5 e 14,0 m) em uma área total de 3 ha divididos em doze parcelas iguais, mantidas sob lotação contínua com dois animais “testes”, e com taxa de lotação variável com animais de “ajuste”, novilhos anelados com peso vivo médio de ±180 kg. Para avaliar os atributos do solo, a amostragem foi feita, por meio de transectos em diferentes distâncias da fileira de eucalipto. Foram abertas as minitrincheiras de 30x30x30 cm para coleta de amostras indeformadas de solo, nas profundidades de: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm, para determinação de atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total). Para as frações de carbono orgânico do solo (Cot, Cop e Coam) coletaram-se amostras deformadas nas mesmas profundidades no sentido perpendicular as minitrincheiras. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa ProcMixed do SAS. As médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As frações de carbono orgânico variaram entre 10,32 g kg⁻¹ e 7,56 g kg⁻¹ para carbono orgânico total (Cot) nas doses estimadas de 17,14 e 411,43 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Os teores de carbono orgânico particulado (Cop) variaram de 1,94 a 4,13 g kg⁻¹ entre 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente, com maior incremento de Cop para a dose estimada de 203 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e decréscimo de carbono orgânico associado aos minerais (Coam) com doses até 278 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Em profundidade, as frações de carbono orgânico decrescem com diferença significativa entre as camadas 0-10 cm e as duas camadas subjacentes, com valores entre 11,24 e 8,07 g kg⁻¹ para Cot, 3,85 e 2,39 g kg⁻¹ para Cop e 6,92 a 5,67 g kg⁻¹ para Coam nas profundidades 0-10 e 20-30 cm. O mesmo acontece com os atributos físicos, com exceção da microporosidade, com valores de 0,54 a 0,56 m³ m⁻³ para porosidade total, de 0,12 a 0,15 m³ m⁻³ para macroporosidade e de 1,45 a 1,49 g cm⁻³ para densidade do solo nas profundidades 0-10 e 20-30 cm. A microporosidade é reduzida e o inverso acontece com a macroporosidade do solo próximo da fileira dupla de árvores em sistema agrossilvipastoril. O uso de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril reduz os teores de carbono orgânico do solo em profundidade, mesmo durante um período relativamente curto de implementação do sistema. A macroporosidade do solo é maior próximo do componente arboreo e a microporosidade diminui com esta aproximação. O sistema agrossilvipastoril, no período avaliado, contribuiu para melhorar a qualidade física do solo, em profundidade e ao longo do distanciamento das fileiras duplas de árvores, porém, é dependente do tipo de manejo empregado na área.

Palavras chave: Sistema integrado de produção, Carbono orgânico, Física do solo.

ABSTRACT

Agrosilvopastoral systems, properly managed, provide diverse ecosystem services. The objective of this study was to evaluate the effects of nitrogen fertilization and forest distance on physical properties and soil organic fractions, in an agroforestry system, in the humid tropics of Maranhão. The study was conducted in 2019, at the Technological Reference Unit – TRU in ICLF of EMBRAPA Cocais in Pindaré Mirim – MA. The design was in randomized blocks, with four treatments and three replications, whose plots corresponded to the levels of nitrogen fertilization (0, 100, 200 and 400 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) and the subplots, the distances of the forest (0; 3.5; 7.0; 10.5 and 14.0 m) in a total area of 3 ha divided into twelve equal plots, kept under continuous stocking with two “test” animals, and with variable stocking rate with “adjustment” animals, ringed steers with an average live weight of ±180 kg. To evaluate soil properties, sampling was carried out through transects at different distances from the forest row. The 30x30x30 cm mini trenches were opened to collect undisturbed soil samples, at depths of: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm, to determine physical properties (density, macroporosity, microporosity and total porosity). For the fractions of organic carbon in the soil (TOC, POC and OCAM), deformed samples were collected at the same depths perpendicular to the minitrenches. Statistical analyses were performed using the ProcMixed program from SAS University. The means of each treatment were compared using the Tukey test, at the 5% probability level. The organic carbon fractions ranged between 10.32 g kg⁻¹ and 7.56 g kg⁻¹ for total organic carbon (TOC) at estimated doses of 17.14 and 411.43 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, respectively. The particulate organic carbon (POC) fractions ranged from 1.94 and 4.13 g kg⁻¹ between 200 and 400 kg of N ha⁻¹ yr⁻¹ respectively, with a greater increase in POC for the estimated dose of 203 kg of N ha⁻¹ yr⁻¹, and decrease of organic carbon associated with minerals (OCAM) with doses up to 278 kg of N ha⁻¹ yr⁻¹. In depth, the organic carbon fractions decrease with a significant difference between the 0-10 cm layers and the two underlying layers, with values between 11.24 and 8.07 g kg⁻¹ for TOC, 3.85 and 2.39 g kg⁻¹ for POC and 6.92 to 5.67 g kg⁻¹ for OCAM at depths 0-10 and 20-30 cm. The same happens with the physical properties, with the exception of microporosity, with values from 0.54 to 0.56 m³ m⁻³ for total porosity, from 0.12 to 0.15 m³ m⁻³ for macroporosity and 1.45 to 1.49 g cm⁻³ for soil density at depths 0-10 and 20-30 cm. The microporosity is reduced and the opposite happens with the macroporosity of the soil near the double row of trees in an agrosilvopastoral system. The use of nitrogen fertilization in agrosilvopastoral systems reduces the levels of organic carbon in the soil in depth, even during a relatively short period of system implementation. The agrosilvopastoral system, in the period evaluated, contributed to improve the physical quality of the soil, in depth and along the distance between the double rows of trees, however, it depends on the type of management used in the area.

Key words: Integrated Production System, Organic carbon, Soil physics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	P: fósforo (Mehlich-I); K ⁺ : potássio; Ca ⁺² : cálcio; Mg ⁺² : magnésio; Na ⁺ :sódio; Al ⁺³ : alumínio; H ⁺ : hidrogênio; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.....	25
Tabela 2	Valores médios das frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em função das distâncias do componente arbóreo no transecto avaliado em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim.....	30
Tabela 3	Valores médios das frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em função das profundidades de coleta do solo avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim-MA.....	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2021) + histórico (2016 a 2021) e do período de coleta de forragem e solos no município de Pindaré-Mirim, MA..... 23
- Figura 2 Representação da amostragem de forragem e atributos do solo em relação as distâncias 0; 3,5; 7; 10,5 e 14 m da fileira dupla de eucalipto no transecto em um sistema agrossilvipastoril..... 26
- Figura 3 Valores médios das frações de carbono orgânico do solo em função das doses de adubação nitrogenada (0, 100, 200, 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil..... 28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAM – Carbono Orgânico Associado aos Minerais

COP – Carbono Orgânico Particulado

COT – Carbono Orgânico Total

COS – Carbono Orgânico do Solo

C – Carbono

CO₂- Dióxido de Carbono

ILP- Integração Lavoura-Pecuária

IPF- Integração Pecuária-Floresta

Ds - Densidade do solo

ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

MAC - Macroporosidade

MIC - Microporosidade

MO - Matéria orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

MS - Matéria Seca

N - Nitrogênio

PT - Porosidade total

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
2.OBJETIVO.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.3 Objetivos específicos.....	16
3.REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 Sistema agrissilvipastoril.....	16
3.2 Recuperação de áreas degradadas com sistema agrossilvpastoril.....	18
3.3 Adubação nitrogenada.....	19
3.4 Componente florestal-atributos do solo.....	21
4. MATERIAL E METODOS.....	23
4.1 Histórico da área.....	23
4.2 Início do experimento.....	24
4.3 Coletas e análise de solo.....	26
5. RESULTADO E DISCUSÃO.....	28
5.1 Atributos do solo.....	28
6.CONCLUSÃO.....	34
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A agropecuária tem papel importante no crescimento da economia brasileira e fornecimento mundial de alimentos. Estima-se que até o ano de 2050 a demanda por alimentos cresça em 46% (GOUEL; GUIMBARD, 2017). Dados apresentados por Marin et al. (2016), indicam que, com o aumento da população mundial, a agropecuária teria que aumentar a produção atual em 60% para atender a demanda.

O aumento da produção não poderá vir baseado unicamente no aumento de área cultivada, as áreas já consolidadas devem ser trabalhadas com o intuito de aumentar sua produtividade, tendo em vista a maior escassez dos fatores de produção no setor primário (REES et al., 2014). De acordo com a Embrapa (2018), o aumento no preço das terras, a escassez de mão de obra rural e a necessidade de preservação de áreas naturais, solos e água limitam a expansão da fronteira agrícola no Brasil.

Além do desafio do aumento da produção de alimentos, as mudanças climáticas, os danos ambientais e a maior demanda por alimentos são fatores que tornam urgente a consolidação de uma agricultura mais sustentável, assim, é imperativo o uso racional do solo e intensificação da produção (JOHNSON et al. 2016). Para isso, é de fundamental importância que o solo esteja em boas condições, para que ele possa refletir na produtividade e na qualidade dos alimentos produzidos e principalmente, que o sistema possa se aproximar ao máximo da sustentabilidade (FREITAS, 2017).

Vários autores, entre eles Barbosa et al. (2018), Oliveira Filho et al. (2018) e Sales et al. (2018), ressaltam que a transformação de ambientes naturais em ambientes de produção, somada ao manejo inadequado, compromete significativamente a qualidade do solo e influencia na dinâmica de entrada e saída de matéria orgânica do solo (MOS). Rosa et al. (2003) encontraram um declínio no conteúdo de carbono do solo em torno de 20 a 50 %, variando com a profundidade, quando os ecossistemas naturais foram substituídos por sistemas de cultivo convencional.

Nessa conjuntura, o sistema agrossilvipastoril que é um conjunto de técnicas que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, em sinergia em uma mesma área, pode se consolidar como uma alternativa para intensificação ecológica da agricultura nos agroecossistemas tropicais (BONETTI et al. 2017).

A região do trópico úmido maranhense possui características de clima e solo peculiares que constituem uma barreira para a inserção de sistemas agrícolas sustentáveis (D'AGOSTIN et al., 2017). A região apresenta altos índices pluviométricos e altas temperaturas, os solos são em grande parte de baixa fertilidade natural, em torno de 60% (AGUIAR et al. 2010).

Visando o aumento da produção de alimentos tendo em vista a elevação da demanda, se busca ferramentas para o aumento da produção das pastagens, a principal são os fertilizantes principalmente os nitrogenados (TAIZ ZEIGER et al., 2017). No ano de 2021, o Brasil importou mais de 13 milhões de toneladas de fertilizantes, batendo um record histórico desde de 2011 (CONAB, 2021).

O nitrogênio é depois da água, o elemento que mais influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, e é o elemento exigido em maior quantidade pelas plantas, geralmente representa 20 a 40g kg⁻¹ da massa seca dos tecidos vegetais (TAIZ ZEIGER et al., 2017). A adubação nitrogenada é fonte de nutriente utilizada na manutenção da produtividade e durabilidade da gramínea (ABREU et al., 2020) , mas pode promover efeitos secundários, onde altas concentrações de nitrogênio podem alterar as composições da comunidade de microrganismos do solo e reduzir a biodiversidade microbiana (ALLISON et al., 2007).

Além disso, os fertilizantes nitrogenados apresentam um elevado custo, com um aumento de 61% no ano de 2021 devido a elevação no preço do gás naturais, matéria prima para fabricação da uréia, também em decorrência da desvalorização do real e valorização do dolar (CONAB, 2021). O conhecimento sobre a movimentação dos nutrientes no solo é especialmente importante em solos tropicais, nos quais o alto grau de intemperismo frequentemente resulta em solos lixiviados e de baixa fertilidade (CÁRDENAS et al., 2019). O componente florestal pode influenciar os atributos do solo, que à longo prazo, causam uma desuniformidade na fertilidade e física do mesmo (PARDON et al., 2017). Tais alterações modificam a exploração dos nutrientes e a deposição de matéria orgânica dentro do sistema e na estruturação do solo (BORGES et al., 2018). Os atributos físicos do solo são de suma importância para garantir o bom desempenho do sistema integrado, pois a qualidade física do solo está relacionada com a capacidade que o mesmo apresenta em permitir o desenvolvimento das plantas sem que ocorra a sua degradação (LLANILLO et al., 2013). A variação

destes atributos tem potencial para influenciar, de forma decisiva, o manejo a ser adotado nas áreas cultivadas, além de ter importante papel na expressão produtiva das culturas (NUNES et al., 2010).

Diantedisso, com este trabalho objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada mineral e do componente florestal nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo, em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense.

2.OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da adubação nitrogenada mineral e do componente florestal nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo, em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar os efeitos da adubação nitrogenada mineral nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo em sistema agrossilvipastoril.

Avaliar a influencia do componente florestal sob os atributos físicos do solo em sistema agrossilvipastoril.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. Sistema Agrossilvipastoril

O sistema agrossilvipastoril ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizados na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO et al., 2011). Ainda de acordo com estes autores, são inúmeras as possibilidades de combinação espaço-temporal entre os componentes agrícola, pecuário e florestal, nas diferentes modalidades: sistema agropastoril; sistema silvipastoril ; sistema silviagrícola e sistema agrossilvipastoril, que se caracterizam pelo alto potencial produtivo e por proporcionarem melhorias na qualidade ambiental.

Os sistemas agrossilvipastoris são uma forma de uso do solo e de diversificação do sistema agrícola que podem aumentar a produtividade agrícola, melhorar a fertilidade do solo, controlar a erosão, conservar a biodiversidade e diversificar a renda para famílias e comunidades (JOSE, 2009). Constituem uma estrutura funcional para otimizar os benefícios nas interações biofísicas entre solo, água, nutrientes, biologia e microclima (UDAWATTA et al., 2017). Esse sistema fornece serviços ambientais como a incorporação de nutrientes pela decomposição de resíduos como a excreta e serrapilheira, conservação do solo coma exploração em profundidade do sistema

radicular de diferentes espécies, sequestro de carbono, preservação da biodiversidade e aumento da qualidade da água (NAIR, 2011).

Pesquisas demonstram que os benefícios dos sistemas agrossilvipastoris melhoram a qualidade física do solo (ASSIS et al., 2015), aumentam os estoques de carbono (SALES et al. 2018), apresentam melhor estrutura do solo, melhor retenção de água e menor perda de solo (BROOM et al., 2013) e proporcionam incremento dos teores de matéria orgânica e maior quantidade de C orgânico e N (LOSS et al., 2011). Além disso, este sistema pode tornar a pecuária economicamente, socialmente e ambientalmente mais sustentável (VRANKEN e BERCKMANS, 2017).

Nos últimos anos a área ocupada pelo sistema de integração lavoura pecuária e floresta aumentou em mais de 10 milhões de hectares. 29% dos produtores que utilizam ILPF adotou o sistema entre 2005 e 2018, neste mesmo período, a área média com ILPF subiu de 4,3% para 9,4% da área agricultável das fazendas. Entre os pecuaristas que usam a ILPF, a previsão é que o espaço médio destinado à ILPF chegue a 20,6% da área agricultável das propriedades até 2030 (EMBRAPA, 2018)

O sistema agrossilvipastoril merece destaque como sistema de produção sustentável (BONAUDO et al., 2014), por evitar o desmatamento, respeitar a segurança alimentar e a agricultura sustentável, e levar em consideração um cenário de crescente demanda por alimento e energia, frente a uma disponibilidade cada vez menor de recursos naturais (LEMAIRE et al., 2014) e têm por objetivo a diminuição dos impactos ambientais negativos, próprios dos sistemas tradicionais de criação de gado (RADOMSKI E RIBASKI, 2012).

O potencial produtivo dos sistemas agrossilvipastoris em condições naturais de solo deve ser bem compreendido, assim como seu potencial com fertilizantes, principalmente o nitrogênio. Bernardino et al., (2011) relataram que a deficiência de nitrogênio em sistema agrossilvipastoril pode restringir a produtividade de forragem uma vez que esses sistemas também têm alta demanda por esse nutriente. Com isso é importante o conhecimento acerca de técnicas que maximizem a produtividade das pastagens com baixo impacto ambiental.

Esses sistemas podem trazer grandes benefícios ambientais, econômicos e a capacidade de recuperar áreas degradadas, com uso racional dos recursos naturais. Entretanto, ainda existem lacunas de conhecimento para o aprimoramento e o desenvolvimento desses sistemas de produção, para torná-los mais eficientes no uso dos recursos naturais.

Neste sentido, as práticas agrícolas atuais causam grande estresse no solo, na água e na biodiversidade. Esses estresses tornam os sistemas tradicionais de produção não sustentáveis e assim, sistemas agrícolas altamente produtivos que tenham um impacto ambiental menor são urgentemente necessários (PONISIO et al., 2015).

3.2 Recuperação de área degradada com sistema agrossilvipastoril

O surgimento de áreas degradadas no Brasil tem aumentado ao longo dos anos, ocasionando inúmeros prejuízos ao meio ambiente. Esse processo se caracteriza pela remoção do horizonte superficial do solo, ocorrendo à perda de propriedades edáficas, que favorece a atuação de processos erosivos, principal causa de degradação dos solos (D'AGOSTIN et al., 2017).

Quanto a degradação das pastagens, tem sido um grande problema para a pecuária brasileira, desenvolvida basicamente a pasto. No Brasil existem aproximadamente 200 milhões de hectares de pastagem nativas ou implantadas, dos quais estima-se que cerca de 130 milhões estejam degradados e necessitem de alguma intervenção para reverter o estado em que se encontram. Esse processo evolutivo acarreta a de perda de vigor, sem possibilidade de recuperação natural e incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, bem como de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras (CARVALHO et al., 2017).

Em geral, as causas mais importantes da degradação têm sido relacionadas ao manejo equivocado da pastagem, clima ou fertilidade do solo onde serão implantadas, a má formação inicial e a falta de adubação de manutenção (CARVALHO et al., 2017). Desta forma, têm surgido técnicas de recuperação áreas degradadas, como exemplo, a adoção de sistema agrossilvipastoril.

Nesse sistema, o processo de intensificação da produção apresenta-se como alternativa para ser utilizada em pastagens degradadas, podendo melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo (ALVARENGA et al., 2010). Outro exemplo sistema integrado, pode ser o sistema silvipastoril, onde há o plantio de árvores ou arbustos incorporados ao processo de recuperação da pastagem, em que as árvores criam um microclima, suas folhas evitam o impacto das chuvas reduzindo a erosão e seu sistema radicular mais profundo e denso impede o arraste de nutrientes e translocam os nutrientes, favorecendo assim a absorção dos nutrientes pelas plantas, além de melhorar as características químicas e físicas do solo (CASTRO et al., 2008).

3.3. Adubação nitrogenada

O nitrogênio é depois da água, o elemento que mais influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, e é o elemento exigido em maior quantidade pelas plantas, geralmente representa 20 a 40g kg⁻¹ da massa seca dos tecidos vegetais (TAIZ ZEIGER et al., 2017). É o principal nutriente para a manutenção da produtividade e persistência de uma pastagem de gramíneas, sendo o principal constituinte das proteínas que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal, sendo responsável por características estruturais da planta, como o tamanho de folha, a densidade de perfilho e folhas por perfilho, além de características morfogênicas, entre elas, as taxas de aparecimento, alongamento e senescência foliar (SANTOS et al., 2012).

A maioria das gramíneas respondem positivamente à adubação nitrogenada, possivelmente devido ao estímulo promovido pelo N, no crescimento e multiplicação de células vegetais, uma vez que este nutriente constitui as proteínas celulares ácidos nucleicos (OLIVEIRA et al., 2007). Mas o potencial de resposta do N é dependente de alguns fatores, como: sistema de preparo do solo, rotação de culturas, intensidade de chuvas, nível de radiação solar e teor de matéria orgânica do solo (SOUSA e LOBATO, 2004).

A adição de N no solo pode alterar a produção e a taxa de decomposição da matéria orgânica, o que torna primordial o conhecimento de seus efeitos nas frações granulométricas da MOS (FACCIN et al., 2016). Segundo Souza et al., (2009), o aumento da disponibilidade de nitrogênio no sistema solo-planta, está ligado a incrementos de carbono no solo, que sob sistema de integração lavoura-pecuária esses teores são ainda maiores, conforme avaliado por Salton et al., (2011), ao estudar o teor e a dinâmica do carbono no solo, encontraram maiores teores nas camadas superficiais do solo, que decresceram com a profundidade.

Alguns autores demonstram a importância desse elemento verificando aumento linear nas produções de massa seca com acréscimo nas doses de N (SILVA et al., 2013). As plantas são capazes de responder à adubação nitrogenada até um ponto, possivelmente, devido à um potencial limitado das plantas em absorver nitrogênio através de suas raízes, que está relacionada com a necessidade dos outros nutrientes para a planta se desenvolver, uma vez que o número de gemas estimuladas que determinam o

perfilhamento potencial da planta (FARIA et al., 2018). O uso da adubação nitrogenada em solos arenosos, com baixo teor de argila e baixa matéria orgânica, também produz maiores perdas de N por lixiviação, uma vez que o N não consegue interagir com os agregados do solo.

A complexa dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera resulta em uma baixa eficiência agrônômica em função das perdas ocorridas para o ambiente (ROCHA et al., 2017). A quantidade de nutriente aplicado pode não ser completamente utilizada resultando em baixa eficiência e posterior poluição das águas subterrâneas (SAMUEL e EBENEZER, 2014) devido ao grande número de fatores que influencia a resposta da adubação nitrogenada.

Um dos principais processos que podem estar envolvidos na perda de N, são a volatilização, a lixiviação. Os fatores que influenciam a lixiviação de N estão relacionados com manejo inadequado do solo, tais como, fontes e forma de aplicação, classe do solo e precipitação pluvial, determinando o nível da eficiência de N aplicado (XU et al., 2012). Perdas de N por volatilização do uso de amônia (NH_3) são afetadas por fatores climáticos e ambientais, favorecidas nas condições do verão, nas quais predominam altas temperaturas e umidade (SANTOS et al., 2016).

Outra forma associada à perda do N é a desnitrificação que é o processo pelo qual o nitrato (NO_3^-) e o nitrito (NO_2^-) passam para as formas gasosas como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) ou nitrogênio atmosférico (N_2) mediado por bactérias em condições anóxicas. No trópico úmido esse processo está presente nos períodos de maior precipitação pluvial, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica (MOURA et al., 2013).

A ureia possui em sua composição 45% N, é de fácil manipulação e causa menos acidificação no solo do que outras fontes de nitrogênio como sulfato de amônio, porém tem mais facilidade no processo de perdas por volatilização da amônia (PRIMAVESI et al., 2006).

Nos solos deficientes em N, o crescimento e o desenvolvimento da planta tornam-se lentos, a produção de perfilhos é negativamente afetada e o teor de proteína torna-se deficiente para o atendimento das exigências do animal (COSTA et al., 2009). Na Amazônia Maranhense dois fatores diminuem a eficiência da utilização dos nutrientes nos solos: a coesão, causada por ciclos repetitivos de umedecimento – secagem – umedecimento em solos com baixos teores de carbono orgânico e ferro livre, que reduz notavelmente a enraizabilidade e, assim, compromete a absorção de

nutrientes; e a alta remoção de bases do perfil, uma vez que esses solos têm uma baixa capacidade de retenção de cátions e estão situados em uma região de altos índices pluviométricos (AGUIAR et al., 2010).

Segundo Nabinger & Carvalho (2009), o N afeta fortemente na ativação dos tecidos meristemáticos, as gemas axilares, pois em sua ausência, aumenta o número de gemas dormentes, enquanto que em níveis adequados permite o máximo perfilhamento da gramínea. Perfilhos individuais possuem longevidade vital limitada e variável, dependendo de fatores bióticos e abióticos, e sua população pode ser mantida por uma contínua reposição dos perfilhos mortos, sendo este comportamento o ponto chave para a perenidade das gramíneas (SANTOS et al., 2012).

Diante da complexidade quanto ao manejo da adubação nitrogenada, devem-se buscar métodos ou técnicas que viabilizem o uso eficiente do N nas culturas, levando em conta as modificações ocorridas no uso da terra. Essas modificações são capazes de afetar a fertilidade do solo e a eficiência de uso do nitrogênio, por meio da alteração de uma série de propriedades físicas (densidade, porosidade e enraizabilidade), químicas (bases trocáveis, pH e saturação por bases) e biológicas (biota do solo, microbiota do solo, matéria orgânica) (QUINKENSTEIN et al., 2012).

Desta forma, há a necessidade de aprimorar estudos pertinentes à relação da aplicação de N em solos arenosos e a sua contribuição no maior aporte de resíduos e alterações da matéria orgânica do solo assim como na qualidade física do solo, que é essencial para a disseminação de práticas agrícolas que aumentem os estoques de C orgânico no solo, em sistemas agrícolas, especialmente no trópico maranhense.

3.4 Componente florestal – atributos do solo

Sistemas como a ILPF, que integram a atividade de agricultura com a inserção de animais e árvores no sistema, passam a promover novas fontes de ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, o que se retrata numa vantagem sobre os sistemas não integrados (PARDON et al., 2017). A inserção do componente florestal no sistema, além de se tornar mais uma opção de renda para o produtor rural, se torna nova fonte de deposição de resíduos vegetais e ciclagem de nutrientes e se apresenta como objeto que promove melhorias na produção pecuária, resultando em ganho em conforto animal dentro da área (BALBINO et al., 2011).

A integração com árvores tem promovido inúmeras alterações na dinâmica dos sistemas em que é adotada, podendo ser de caráter sinérgicos ou competitivos. Dentre os benefícios encontrados com a adoção do componente florestal no sistema, pode-se citar o maior aporte de carbono orgânico e a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (COSTA et al., 2015; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; MENDONÇA et al., 2013; SOUSA NETO et al., 2014).

A influência do componente arbóreo ocorre por meio das raízes e da serapilheira, a qual fornece nutrientes para a biota do solo. A interação das plantas e da biota resulta na construção da estrutura física do solo, cuja complexidade é maior quanto maior a quantidade, qualidade, diversidade e frequência do aporte da serapilheira (VEZANI; MIELNICZUK, 2009). A deposição de serapilheira varia conforme a composição de espécies, a idade das árvores (NEVES et al., 2001).

Braida et al. (2011) reportam que a matéria orgânica do solo, proporcionada pela serapilheira, interfere no aporte de carbono orgânico e no comportamento físico do solo atuando na formação de agregados e, portanto, na distribuição do tamanho de poros, assim como na sua estabilidade.

O componente florestal sob sistema de integração, exerce também papel de fonte e dreno na dinâmica de nutrientes para o solo (FOLIET et al., 2014) e isso está relacionado ao seu maior crescimento, que em contrapartida, tem potencial para competir com outras culturas devido ao sombreamento de suas copas (RESENDE et al., 2017). A altura das árvores, o espaçamento e orientação entre linhas estão entre os importantes determinantes das condições microclimáticas, que, juntamente com as características do solo, influenciam o crescimento da forragem em um sistema agrossilvipastoril (PEZZOPANE et al., 2018), assim como mudanças nas propriedades do solo, que devem ocorrer a distâncias próximas das árvores (MOREIRA et al., 2018).

Para os agroecossistemas a adoção do sistema integrado com o componente arbóreo, os benefícios são inúmeros, destacando-se o favorecimento à infiltração e retenção de água no solo, incremento de carbono orgânico, além de favorecer o desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais (PEZARICO et al., 2013).

Ocorre também um aumento na ciclagem de nutrientes, com substancial melhoria na biota e fertilidade do solo, aumento da porosidade total e da agregação do solo (CONTE et al., 2011; LOSS et al., 2014), favorece a diminuição da densidade do solo e do grau de compactação (MACEDO, 2009). Estes resultados foram verificados

por Carvalho et al., (2004), comparando atributos físicos de solo entre um sistema de produção convencional e uma área com sistema agroflorestal.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Histórico da área

O sistema agrossilvipastoril foi implantado em fevereiro de 2016, na Unidade de Referência Tecnológica - URT em ILPF da EMBRAPA Cocais em Pindaré Mirim – MA, BR, localizada entre as coordenadas geográficas 3° 46' 9.12" S de latitude, 45° 30' 1.44" W de longitude e 33m ao nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima local é do tipo Aw (quente e úmido) caracterizado por apresentar um clima tropical chuvoso com nítida estação seca e com uma média de precipitação de 2.100 mm ano⁻¹ (Figura 1). Com temperatura mínima de 23°C, máxima de 37°C e temperatura média de aproximadamente 27°C (INMET, 2021).

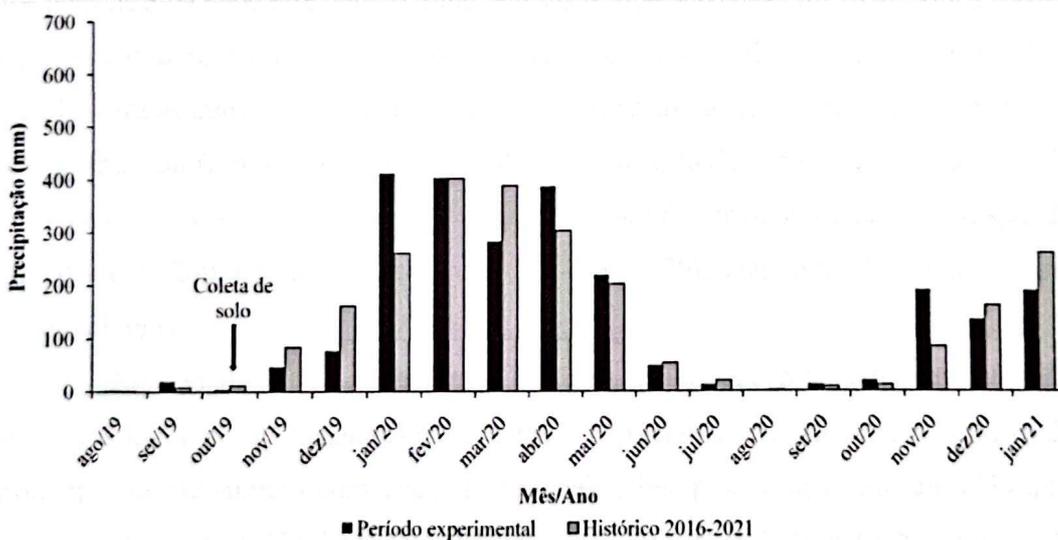


Figura 1 - Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2021) + histórico (2016 a 2021) e do período de coleta de forragem e solos no município de Pindaré-Mirim, MA.

O solo do local é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (GARCIA, 2015), com variações no relevo de suave-ondulado a ondulado, sendo recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas (ROCHA et al., 2020). O sistema foi implantado em três hectares e meio, em consórcio e

sucessão de milho (*Zea mays*), eucalipto (*Eucalyptus*) e pastagem. O solo foi corrigido aos 90 dias antes do plantio do milho, em novembro de 2015, pelo método de saturação por bases, com uma dose de 1,0 t 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, em plantadeira de plantio direto, 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, no espaçamento de 3m x 2m e 28m entre fileiras duplas, distribuídas em renques. 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, 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), com quatro folhas totalmente desenvolvidas; e a 2ª adubação de cobertura = 200 kg ha⁻¹ da fórmula (36 - 00 - 30), com oito folhas totalmente desenvolvidas.

No ano de 2018, a área se manteve em pousio até o mês de novembro do mesmo ano, quando iniciaram-se os ciclos de pastejo contínuo, com a entrada do primeiro lote de animais com dez garrotes anelados, peso vivo médio de ±250 kg e taxa de lotação de 5 UA ha⁻¹ano⁻¹, que permaneceram até abril de 2019. Nesse ano, não houve adubação com NPK no capim, assim como aplicação de calcário na área.

4.2 Início do experimento

O experimento foi iniciado em maio de 2019, em 3,0 ha, cuja área com pasto foi dividida com cerca eletrificada, em doze piquetes de aproximadamente 2.250 m² cada. Durante o período de avaliação, as árvores de eucalipto estavam com altura média de 20,15 m e densidade de 323 árvores ha⁻¹. O delineamento utilizado foi o de blocos

casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro tratamentos e três repetições. As parcelas corresponderam aos tratamentos com níveis de adubação nitrogenada: (I) Controle, sem adubação nitrogenada; (II) aplicação de 100 kgN ha⁻¹ ano⁻¹, (III) aplicação de 200 kgN ha⁻¹ ano⁻¹; (IV) aplicação de 400 kgN ha⁻¹ ano⁻¹; e as subparcelas, as distâncias do componente florestal: 0; 3,5; 7,0; 10,5 e 14,0 m.

Antes da instalação do experimento, foi realizado coleta de solos na camada de 0-20 cm, que foi analisada quanto as características químicas seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2017), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm, em maio de 2019.

MO	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	SB	Al ⁺³	H ⁺	CTC	V
g kg ⁻¹	CaCl	mg dm ⁻³				(mmolc dm ⁻³)					%
4,0	4,8	10,7	5,4	21,3	20,7	9,4	56,8	0,0	20,7	77	73

P: fósforo (Mehlich-I); K⁺: potássio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; Na⁺:sódio; Al⁺³: alumínio; H⁺: hidrogênio; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

As adubações com ureia foram parceladas em quatro doses iguais durante o fim do período chuvoso, nos meses de maio, julho, agosto e setembro de 2019 distribuído manualmente a lanço, um dia após a saída dos animais de cada piquete e de acordo com o ciclo apresentado pela gramínea.

O método de pastejo foi lotação contínua, com carga variável, conforme metodologia proposta por Mott e Lucas (1952), onde o ajuste dos animais nas parcelas foi adaptado conforme recomendação de Sollenberger et al., (2005), por meio da oferta de forragem, objetivando-se nesse experimento, uma oferta de forragem em torno de 1 kg de MS por kg peso corporal. Os novilhos utilizados possuíam peso vivo médio de ±180 kg, sendo dois animais “testes” que permaneceram fixos nas parcelas, e um número variável de animais de “ajuste” de acordo com a oferta de forragem que era realizada a cada 28 dias, juntamente com a pesagem dos animais.

Houve a entrada de 24 animais distribuídos nas parcelas em maio de 2019, que permaneceram até setembro do mesmo ano, recebendo água e sal mineral “*ad libitum*”. As parcelas ficaram sem pastejo de outubro de 2019 a janeiro de 2020, período de baixa oferta de forragem. Os animais voltaram as parcelas em janeiro de 2020 permanecendo ate o mês de setembro do mesmo ano.

4.3 Coleta e análise de solo

A coletas dos atributos do solo foi realizada em outubro de 2019, em um transecto perpendicular as fileiras duplas de eucalipto na direção sul, com 14 m de comprimento, dividido em cinco pontos equidistantes entre si em uma faixa amostral (0; 3,5; 7; 10,5 e 14 m) da fileira dupla de eucalipto para o centro da parcela, cujas posições foram amostradas no esquema “meio-dos-meios”: P1 (0 m), P2 (1,75 m), P3 (5,25 m), P4 (8,75 m) e P5 (12,25 m) conforme Figura 2, adaptado da metodologia (Pezzopane et al., 2019). O ponto 1 (P1) refere-se a amostragem feita a 0,5 m da base da planta, no sentido da linha de plantio do eucalipto, com ausência de capim.

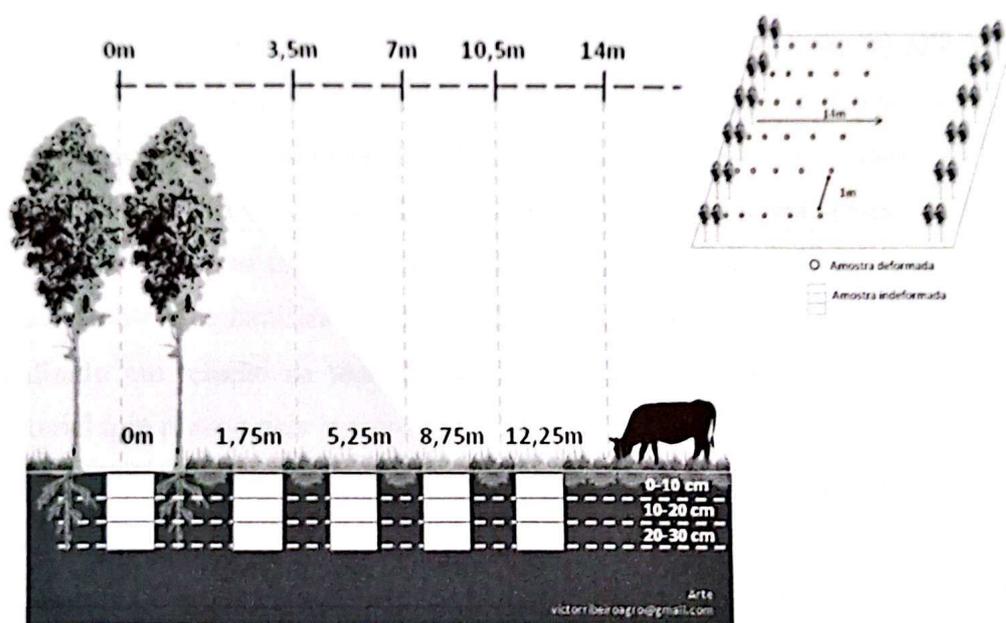


Figura 2 - Representação da amostragem dos atributos do solo em relação as distâncias 0; 3,5; 7; 10,5 e 14 m da fileira dupla de eucalipto no transecto em um sistema agrossilvipastoril.

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 divisão da densidade do solo e densidade de partículas (TEIXEIRA et al., 2017). Nesse trabalho considerou-se a densidade de partículas para solos com textura média igual à $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (REICHARDT, 1987).

Para a coleta das amostras de solo deformadas, foi utilizado trado holandês graduado, coletando-se o solo no sentido perpendicular a cada minitrincheira com a retirada de seis amostras simples, três para cada lado da minitrincheira, com distância de

1 m entre cada ponto amostral, que foram reunidos, para formar uma amostra composta para cada distância e profundidade de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Depois de coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) na qual foram analisadas as frações de carbono orgânico do solo. As análises das frações do carbono orgânico do solo foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Maranhão.

Os teores de carbono orgânico total (COt) foram determinados por digestão úmida com a mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, sob aquecimento externo, adaptado de Yeomans e Bremner (1988).

O fracionamento físico granulométrico do carbono orgânico do solo foi realizado segundo Cambardella e Elliott (1992). Foram pesadas 10g de TFSA que foram submetidas à agitação horizontal por 15 horas na presença de 40 mL de solução de hexametáfosfato de sódio na concentração de 5 g L^{-1} . Logo após, a suspensão passou em peneira de $53 \mu\text{m}$ com o auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C , quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico, conforme descrito para o COt. O material que passou pela peneira de $53 \mu\text{m}$, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COt e COp.

Para todos os dados, foram testadas as premissas para a análise de variância, sendo normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância dos erros (teste de Bartlett). Posteriormente, foram realizadas análises de variância, utilizando o procedimento ProcMixed do SAS (software SAS University Edition), para as variáveis, utilizando-se o teste de Tukey, quando o teste F foi significativo ($P < 0,05$). Foram considerados como fatores fixos os tratamentos e distâncias e, como fator aleatórios os blocos.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Atributos do solo

Não houve efeito das interações entre os fatores fixos adubação, distância e profundidade, para nenhuma das variáveis do solo. Houve efeito das doses de nitrogênio para as frações de carbono orgânico ($P < 0,0001$), (Figura 3).

Os teores de carbono orgânico total (COT) tem comportamento linear decrescente, variando entre $10,32 \text{ g kg}^{-1}$ e $7,56 \text{ g kg}^{-1}$ para as doses estimadas de 17,14 e $411,43 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Esse resultado pode ser explicado devido aos baixos níveis de nitrogênio do solo, onde a adição externa desse nutriente tende a colaborar para a diminuição da relação C:N e acaba por mineralizar a matéria orgânica, assim, os teores de COT reduzem à medida que aumenta o nitrogênio aplicado. A aplicação de N diminui a relação C:N da palhada de gramíneas, o que pode ativar o processo microbiano de decomposição (SMITH, 1994) decorrente de maior atividade de microrganismos decompositores sobre a matéria orgânica, acarretando na redução do carbono orgânico do solo (D'ANDRÉA et al., 2006).

Em trabalho semelhante, Ernani et al., (2002) observou que em palhada de aveia (C/N: 40:1), a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N promoveu aumento de 69% na sua decomposição em relação ao tratamento sem N.

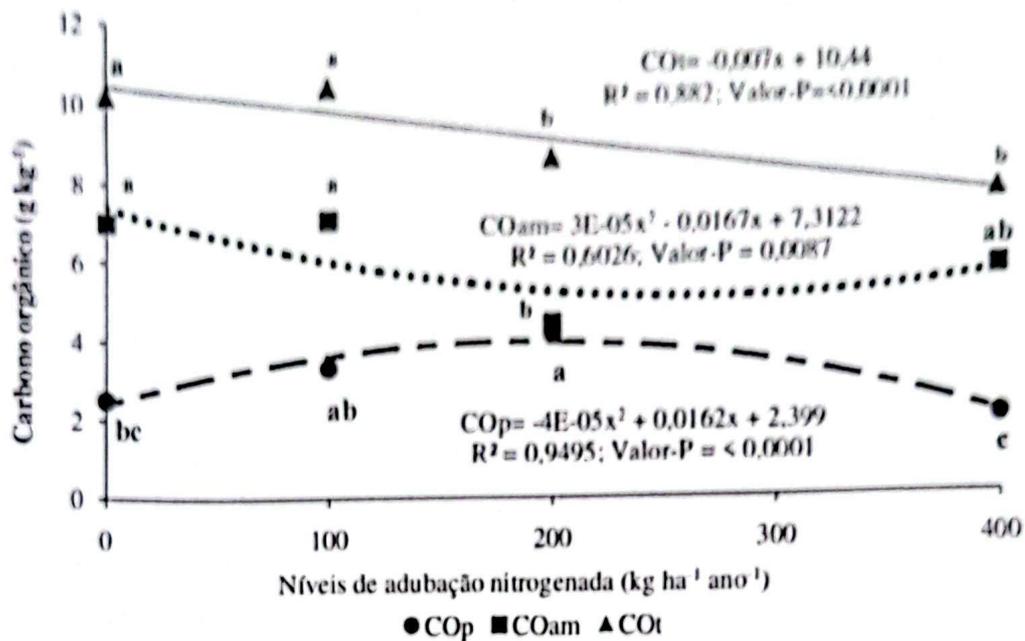


Figura 3 - Valores médios das frações de carbono orgânico do solo em função das doses de adubação nitrogenada (0, 100, 200, 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

As diferentes doses de adubação nitrogenada, baseado no modelo matemático linear, explicam 88,20% do comportamento da variação dos valores de carbono orgânico total, inferindo que houve pouco efeito do acaso na obtenção dos resultados para essa variável.

O modelo matemático quadrático foi o que melhor se ajustou aos teores de CO_p ($r^2=0,9495$) e CO_{am} ($r^2=0,6026$). Os valores de CO_p variaram de 1,94 e 4,13 g kg⁻¹ com maior incremento de CO_p para dose estimada de 203 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. O CO_p é a fração do carbono que está associada aos resíduos orgânicos presentes no solo, menos estável e alterado pelo manejo, estando os seus teores relacionados a deposição de material vegetal e sua consequente decomposição. Segundo Loss et al., (2011) o CO_p é formado por partículas derivadas de resíduos de plantas, cujo sistema de manejo que proporcionam maior aporte de C e resíduos na superfície do solo aumentam os teores de CO_p. Desta forma, o incremento de carbono é favorecido pela disponibilidade de nitrogênio que associado ao manejo permite a rápida degradação dos resíduos e elevação dos seus teores no solo. Segundo Souza et al., (2009), incrementos de carbono no solo estão ligados ao aumento na disponibilidade de nitrogênio no sistema solo-planta.

Em contrapartida, as doses até 278 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ causam decréscimo nos valores do carbono orgânico-mineral (COam). Este resultado tem relação com a qualidade dos resíduos orgânicos que são depositados na superfície do solo, uma vez que estes podem conter alta relação C:N e maiores teores de lignina e celulose que implica em lenta decomposição, menor mineralização e conseqüente menor acúmulo desta fração nos agregados do solo. A relação C:N é tida como um índice geral dessa qualidade do material, uma vez que sua relação é associada à taxa de decomposição e taxa de mineralização que diminuem conforme há aumento da relação C:N (SENEVIRATNE, 2000). Por outro lado, quando maiores doses desse nutriente foram adicionadas, houve leve incremento nos teores de COam que pode ser explicado pela maior deposição de matéria orgânica e conseqüente decomposição da fração orgânica particulada (Figura 3).

A distância do componente arbóreo influenciou a macroporosidade e microporosidade do solo, contudo não houve efeito desse fator para as frações de carbono orgânico e a densidade do solo (Tabela 4).

Tabela 2 - Valores médios das frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em função das distâncias do componente arbóreo no transecto avaliado em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

Distância (m)	COt	COp	COam	Pt	Mac	Mic	Ds
	g kg ⁻¹				m ³ m ⁻³		g cm ⁻³
0	9,72 a	3,49 a	6,24 a	0,55 a	0,15 a	0,40 b	1,47 a
3,5	8,73 a	3,02 a	5,28 a	0,55 a	0,14 ab	0,40 b	1,47 a
7	8,94 a	2,36 a	5,99 a	0,55 a	0,13 bc	0,42 ab	1,47 a
10,5	8,59 a	2,84 a	6,04 a	0,55 a	0,14 b	0,41 ab	1,48 a
14	9,76 a	3,15 a	6,45 a	0,56 a	0,12 c	0,44 a	1,48 a
Erro padrão	1,18	0,66	0,59	0,01	0,01	0,01	0,02
Valor-P	0,2869	0,0704	0,4816	0,7284	<0,0001	0,0192	0,8782

COt: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; Pt: porosidade total; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; Ds: densidade do solo. Letras iguais e minúsculas na coluna, não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Quanto menor o distanciamento do ponto de amostragem em relação ao componente arbóreo, maior a macroporosidade, variando de 0,15 a 0,12 m³ m⁻³ e menor a microporosidade, variando de 0,40 a 0,44 m³ m⁻³. Este comportamento acontece pela relação inversamente proporcional que ocorre entre esses atributos. Esse resultado da macroporosidade é explicado pela maior concentração de raízes finas do eucalipto próximo da árvore, assim como pela deposição de material orgânico proveniente do

eucalipto, que eleva os teores de matéria orgânica presente no solo propiciando melhor estruturação e formação dos macroagregados do solo.

Autores como Spera et al., (2009) observou em diferentes sistemas de plantio direto, que a matéria orgânica exerce influência no aumento do volume de macroporos e reestruturação dos macroagregados do solo. Martins et al., (2004) observaram que há uma maior concentração de raízes finas do eucalipto na camada mais superficial do solo em eucaliptos com 3 anos de idade, $8,20 \text{ cm cm}^{-3}$, próximo ao observado na pesquisa, com 4 anos.

A profundidade influenciou as frações orgânicas de carbono e atributos físicos do solo, exceto a microporosidade (Tabela 5).

Tabela 3 - Valores médios das frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em função das profundidades de coleta do solo avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

Profundidade (cm)	COt	COp	COam	Pt	Mac	Mic	Ds
	g kg ⁻¹				m ³ m ⁻³		g cm ⁻³
0-10	11,24 a	3,85 a	6,92 a	0,54 b	0,12 b	0,42 a	1,45 b
10-20	8,14 b	2,67 b	5,41 b	0,56 a	0,14 a	0,42 a	1,49 a
20-30	8,07 b	2,39 b	5,67 b	0,56 a	0,15 a	0,41 a	1,49 a
Erro padrão	1,13	0,64	0,50	0,01	0,01	0,01	0,01
Valor-P	<0,0001	<0,0001	0,0092	0,0058	<0,0001	0,7562	0,0114

COt: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado a os minerais; Pt: porosidade total; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; Ds: densidade do solo. Letras iguais e minúsculas na coluna, não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

As frações de carbono orgânico decrescem em profundidade com diferença significativa entre as camadas 0-10 cm e as duas camadas subjacentes. Os valores das frações de carbono orgânico variaram de 11,24 a 8,07 g kg⁻¹ para COt, 3,85 a 2,39 g kg⁻¹ para COp e 6,92 a 5,41 g kg⁻¹ para COam (Tabela 5). A redução do CO em profundidade tem sido reportada por diversos autores. Em trabalho realizado por D'Andreas et., (2011) com avaliação de estoque de carbono orgânico no cerrado nativo sob diferentes tipos de manejo, observou que a camada com maior estoque de CO é a camada 0-10 com 18,5 g kg⁻¹, e que o manejo com maior estoque de CO nas camadas de 0-20 foi o manejo com pastagem, cujo histórico de uso indica uma maior diversificação nas culturas adotadas em rotação.

Os atributos físicos do solo aumentam em profundidade, com diferença significativa entre as camadas 0-10 cm e as duas camadas subjacentes, com exceção da

microporosidade. Os valores dos atributos variaram de 0,54 a 0,56 $m^3 m^{-3}$ para porosidade total, de 0,12 a 0,15 $m^3 m^{-3}$ para macroporosidade e de 1,45 a 1,49 $g cm^{-3}$ para densidade do solo (Tabela 5).

O COt apresentou maior valor na camada 0-10 cm com 11,24 $g kg^{-1}$ pelo maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, em função da vegetação presente na área, tanto pela gramínea forrageira como do componente arbóreo, demonstrando a importância e forte influência do tipo de manejo na deposição de resíduos vegetais provenientes das culturas agrícolas para o acúmulo de COS. Gazolla et al., (2015) concluíram que o conteúdo de carbono orgânico do solo é maior próximo da superfície, 73,62 $g kg^{-1}$, devido aos aportes de matéria orgânica ocorridos via cobertura vegetal.

O COp apresentou maior valor na camada de 0-10 cm com 3,85 $g kg^{-1}$, cujos maiores valores de COp estão relacionados à adição de resíduos vegetais ao solo; neste caso, a matéria orgânica é oriunda da gramínea forrageira, composta por maiores relações C:N e lignina:N total, o que infere na menor velocidade de decomposição e consequente acúmulo no solo (COSTA et al., 2015). No sistema plantio direto, como há maior adição e acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, também é de se esperar maiores aportes de COp na camada superficial do solo (ENSINAS et al., 2016). Os teores de COp nas camadas mais profundas (10-20 e 20-30 cm) apresentaram menores teores 2,67 $g kg^{-1}$ e 2,39 $g kg^{-1}$ respectivamente. Essa estratificação demonstra a grande influência dos resíduos que são depositados nesses sistemas, na formação de COp pela matéria orgânica introduzida na superfície do solo. Resultado semelhante foi observado por Carmo et al., (2012), avaliando essas frações em sistema de plantio direto com gramíneas.

O COam apresentou maior valor 6,92 $g kg^{-1}$ na camada 0-10 cm, não diferindo nas camadas subjacentes. A formação de COam é resultado da decomposição de COp (CHAN et al., 2001) o que explica esse maior teor nesta camada.

Contudo em subsuperfície, a tendência é que ocorra acumulação desta fração devido a sua associação com a superfície dos minerais de argilas pela maior estabilidade de agregados no solo em profundidade, demonstrando a capacidade dos sistemas agrossilvipastoris em propiciar maior produção, acúmulo e estabilização de carbono no solo. Essa associação de argilominerais no solo promove a proteção contra a decomposição da MOS por microrganismos, o que pode levar à maior estabilidade do COam e à sua permanência no solo (HARTMAN et al., 2014).

A porosidade total foi menor na camada 0-10 cm, com $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 5), apresentando valor inferior em relação as demais profundidades 10-20 cm e 20-30 cm, sendo crescente nessas profundidades. O aumento da porosidade em profundidade ocorreu, provavelmente, pelo não revolvimento contínuo do solo, assim como em função do sistema radicular agressivo e volumoso das forrageiras e de invertebrados edáficos, que podem ter contribuído para melhoria da sua estruturação física do solo.

Assim como a porosidade, a macroporosidade foi menor na camada 0-10 cm, e crescente em profundidade, com valores que variaram de $0,12$ a $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Por se tratar de uma área com pastejo animal contínuo, essa redução dos poros na camada mais superficial pode ter relação com a pressão mecânica exercida pelo pisoteio animal, porém, este não afetou negativamente este atributo ao ponto de reduzir a um nível crítico, uma vez que os resultados estão acima de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas camadas 10-20 e 20-30 cm, considerado adequado para as trocas gasosas e líquidas entre o ambiente externo e o solo (REICHERT et al., 2007). O mesmo foi observado em 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.

A D_s apresentou menor valor com $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ na camada mais superficial do solo, 0-10cm, sendo crescente com o aumento da profundidade (Tabela 5). Este resultado está relacionado com a presença da matéria orgânica resultante da deposição de resíduos provenientes do eucalipto e capim Marandu assim como da ação das raízes, cuja palhada serve como camada de proteção, que por se tratar de uma área sob pastejo contínuo de animais, essa estrutura amortece o pisoteio e dissipa a força exercida pelos cascos dos animais sobre o solo. A matéria orgânica auxilia na melhoria da qualidade física do solo com efeitos positivos sobre a estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo (SPERA et al., 2010).

Os valores de densidade encontrados neste estudo estão abaixo dos valores críticos para desenvolvimento das culturas que segundo Reinert e Reichert (2006) 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 médios entre $1,45 \text{ g cm}^{-3}$, $1,49 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,49 \text{ g cm}^{-3}$, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente (Tabela 5).

Em profundidade observou-se aumento da densidade, ocasionado pela tendência natural do adensamento provocado pelo peso das camadas subjacentes assim como o

não revolvimento do solo pelo tempo de implantação do sistema ILPF e menor contribuição da matéria orgânica em profundidade. Costa et al., (2003) atribuíram esse comportamento à menor contribuição da matéria orgânica na agregação do solo em camadas mais profundas, ao peso das camadas sobrejacentes, à menor penetração de raízes e à diminuição da porosidade total devido a eluviação de argila.

Com base nos resultados dos atributos físicos avaliados, evidencia-se os benefícios do uso de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na manutenção da qualidade física do solo, que propiciam condições mais favoráveis para o estímulo da atividade dos microrganismos e eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas.

6.CONCLUSÃO

Há uma relação inversamente proporcional entre a micro e macroporosidade do solo próximo da fileira de árvores em sistema agrossilvipastoril.

O uso de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril reduz os teores de carbono orgânico do solo em profundidade mesmo durante um período relativamente curto de implementação do sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. D. C. F.; BICUDO, S. J.; SOBRINHO, J. R. S. C.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst*, v.86, n.2, p.189-198, 2010.
- ALLISON, S. D.; HANSON, C. A.; TRESEDER, K. K. Nitrogen fertilization reduces diversity and alters community structure of active fungi in boreal ecosystems. *Soil Biol Biochem*, v.39, p.1878-1887, 2007.
- ANGHINONI, I.; ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. In: Encontro Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil, Pato Branco. *Synergismus scyentifica*, p.1-8, 2011.
- ASSIS, P. C.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. D. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Rev Bras Eng Agríc Ambient*, v.19, n.4, p.309-316, 2015.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. D. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Embrapa Cerrados, Brasília. 2011.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v. 39, n. ISSN0103-8478, p. 1925-1933, 2011.
- BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 137-142, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p137-142>
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil Till. Res.*, v.53, p.95-104, 2000a.
- BERNARDINO, F. S.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NEVES, J. C. L.; ROCHA, G. C. Produção de forragem e desempenho de novilhos de corte em um sistema silvipastoril: efeito de doses de nitrogênio e oferta de forragem. *Rev Bras Zootec*, v.40, p.1412-1419, 2011.
- BONAUDO, T.; BENDAHAN, A. B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGE, F.; MAGDA, D.; TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European J Agron*, v.57, p.43-51, 2014.
- BONETTI, J. DE A.; ANGHINONI, I.; DE MORAES, M.T.; FINK, J.R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil & Tillage Research*. v.174, p.104-112, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>
- BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agrofor Syst*, v.93, p.2111-2119, 2018.

- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; RECH, C.; MAFRA, Á. L.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Rev Ciênc Agrovet*, v.15, n.1, p.60-67, 2016.
- BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Org.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, v. VII, p.222-227, 2011.
- BROOM, D. M.; GALINDO, F. A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society of London Biological Science*, v.280, n.20132025, p.1-9, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J*, v.56, n.3, p.777-783, 1992.
- CÁRDENAS, A.; MOLINER, A.; HONTORIA, C.; IBRAHIM, M. Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agroforest. Syst.*, v.93, p.229-239, 2019.
- CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Biosci J*, v.28, n.3, p.420-431, 2012.
- CARVALHO, P. C. DE F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 5, p. 1040-1046, 2014.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Sci New Brunswick*, v.166, p.61-67, 2001.
- COBUCCI, T.; WRUCH, F. J.; KLUTHCOUSKI, J. **Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos**. Informe Agropecuário, v.28, n.240, p.25-42, 2007.
- CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.
- COSTA, A. M.; SOUZA, M. A. S.; SILVA, J. R. A. M.; FALQUETO, R. J.; BORGES, E. N. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos da cerrado. In: II Simpósio Regional de Geografia. *Anais...* Uberlândia, 2003.
- COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração LavouraPecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Biosci J*, v.31, p.818-829, 2015.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – fertilizantes: Nono levantamento, novembro 2021 – safra 2020/2021. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. B. Emissões de CO₂ do solo: métodos de avaliação e influência do uso da terra. In: Roscoe R, Mercante FM, Salton JC (Ed.) Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p.199- 242, 2006.

EMBRAPA. A cultura da Mandioca. Disponível em: <<http://atividaderural.com.br/artigos/5602ec3b2a182.pdf>> Acessado em 20 de julho de 2017.

EMBRAPA. ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. 1. ed. Brasília: 2019.

EMBRAPA. ILPF : o aumento no preço das terras, a escassez de mão de obra rural. 2. Ed. Brasília: 2018.

ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; PRADO, E. A. F.; LOURENTE, E. R. P.; ALTOMAR, P. H.; POTRICH, D. C.; MARTINEZ, M. A.; CONRAD, V. A.; JESUS, M. V.; KADRI, T. C. E. L. Cover crops affect on soil organic matter fractions under no till system. *Austral J Crop Sci*, v.10, p.503-512, 2016.

ERNANI, P. R., L. Sangoi & C. Rampazzo. 2002. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26 (4): 993-1000.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. *Pesqui Agropecu Bras*, v.51, n.12, p.2000-2009, 2016.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I, R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco do eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, 2018

FOLIET, S.; REED, J.; CLENDENNING, J.; PETROKOFISKY, G.; PADOCH, C.; SUNDERLAND, T. To what extent does the presence of forests and trees contribute to food production in humid and dry forest landscapes?: a systematic review protocol. *Environ Evidence*, v.3, n.1, p.15, 2014.

FREITAS, C.D. **Qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo na região central de Minas Gerais.** (Dissertação). Universidade Federal de Viçosa – Florestal, MG, 2017.

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.** Monografia, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHE, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciên Agr*, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

- GOUEL, C.; GUIMBARD, H. *Nutrition Transition and Structure of Global Demand*, Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aay030>
- HARTMAN, D. C.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. Z.; SCHIMIGUEL, R. Evidências de saturação de carbono em solos sob plantio direto em agro-ecossistemas subtropical e tropical no Brasil. *Synerg Scyent*, v.9, p.1-6, 2014.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos 2016-2021. 2020.
- JOHNSON, J.A, RUNGE, CF, SENAWER, B; POLASKY, S. Global food demand and Carbon-Preserving Cropland Expansion under Varying Levels of Intensification. *Land Economics*, vol. 92, n. 04, pp. 579 - 592, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3368/le.92.4.579>
- JOSE, S. Agrossilvicultura para serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais: uma visão geral. *Sistemas Agroflorestais*, v.76, n.1, p.1-10, 2009.
- KOEPPEN, W. *Climatologia Mexico: Fundo de Cultura Economica*. 1948.
- LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; DE FACCI CARVALHO, P. C.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosyst Environ*, v.190, p.4-8, 2014.
- 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.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. *Pesqui Agropecu Bras*, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. especial, p. 133-146, 2009.
- MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, F. R.; GUEDES, M. C.; GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicação de doses crescentes de biossólido. *Sci Florest*, v.65, p.207-218, 2004.
- MONI, C.; DERRIEN, D.; HATTON, P. J.; ZELLER, B.; KLEBER, M. Density fractions versus size separates: does physical fractionation isolate functional soil compartments. *Biogeosci Disc*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-9-5181-2012>
- MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; MAGALHÃES, C. A. D. S.; FARIAS NETO, A. L. D.; SAUER, G.; SILVA, J. F. V.; FERNANDES, R. Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. *Rev Árvore*, v.42, p.4, 2018.
- MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the sixth International*

GOUEL, C.; GUIMBARD, H. *Nutrition Transition and Structure of Global Demand*, Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aay030>

HARTMAN, D. C.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. Z.; SCHIMIGUEL, R. Evidências de saturação de carbono em solos sob plantio direto em agro-ecossistemas subtropical e tropical no Brasil. *Synerg Seyent*, v.9, p.1-6, 2014.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos 2016-2021**. 2020.

JOHNSON, J.A, RUNGE, CF, SENAWER, B; POLASKY, S. Global food demand and Carbon-Preserving Cropland Expansion under Varying Levels of Intensification. *Land Economics*, vol. 92, n. 04, pp. 579 - 592, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3368/le.92.4.579>

JOSE, S. Agrossilvicultura para serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais: uma visão geral. *Sistemas Agroflorestais*, v.76, n.1, p.1-10, 2009.

KOEPPEN, W. *Climatologia Mexico: Fundo de Cultura Economica*. 1948.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosyst Environ*, v.190, p.4-8, 2014.

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.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. *Pesqui Agropecu Bras*, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

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

MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, F. R.; GUEDES, M. C.; GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicação de doses crescentes de bio sólido. *Sci Florest*, v.65, p.207-218, 2004.

MONI, C.; DERRIEN, D.; HATTON, P. J.; ZELLER, B.; KLEBER, M. Density fractions versus size separates: does physical fractionation isolate functional soil compartments. *Biogeosci Disc*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-9-5181-2012>

MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; MAGALHÃES, C. A. D. S.; FARIAS NETO, A. L. D.; SAUER, G.; SILVA, J. F. V.; FERNANDES, R. Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. *Rev Árvore*, v.42, p.4, 2018.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the sixth International*

Grassland Congress, Pennsylvania. *Anais...Pennsylvania State College*, v.6, p.1380-1385, 1952.

MOURA, E. G.; MONROE, P. H. M.; COELHO, M. J. A.; COSTA, S. J. R. S.; AGUIAR, A. C. F. Effectiveness of calcined rock phosphate and leucaena prunings as a of nutrients for maize in a tropical soil. *Biological Agriculture Horticulture*, v.29, p.132-144, 2013.

NAIR, P. K. R. Sistemas agroflorestais e qualidade ambiental. *J Environ Quality*, v.40, n.3, p.784-790, 2011.

NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 43, p. 47-60, 2001.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419. 2011.

OLIVEIRA, W. R. D. D.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. D.; COSER, T. R.; SILVA, A. M. M.; LACERDA, M. M.; PULROLNIK, K. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1501-1510, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900049>

PARDON, P. et al. Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 247, n. January, p. 98-111, 2017.

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

PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G.; BOSI, C.; SENTELHAS, P. C. An integrated agrometeorological model to simulate Marandu productivity. *Field Crop Res*, v.224, p.13-21, 2018.

PINHO, R. C.; MILLER, R. P.; ALFAIA, S. S. Agroforestry and the improvement of soil fertility: a view from Amazonia. *Appl Environ Soil Sci*, p.1-12, 2018.

PONISIO, L. C.; M'GONIGLE, L. K.; MACE, K. C.; PALOMINO, J.; DE VALPINE, P.; KREMEN, C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc R Soc*, v.282, n.1799, 2015.

QUINKENSTEIN, A.; PAPE, D.; FREESE, D.; SCHNEIDER, B. U.; HÜTTL, R. F. Biomass, carbon and nitrogen distribution in living woody plant parts of *Robinia pseudoacacia* L. growing on reclamation sites in the mining region of Lower Lusatia (Northeast Germany). *International J Forest Research Plant Soil*, v.35, p.382-390, 2012.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. *Pesqui Flor Bras*, v.32, n.69, p.53-61, 2012.

REES, H. V; MCCLELLAND, T.; HOCHMAN, Z.; CARBERRY, P.; HUNT, J.; HUTH, N.; HOLZWORTH, D. Leading farmers in South East Australia have closed the exploitable wheat yield gap: prospects for further improvement. *Field Crops Research*, v. 164, p. 1-11, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.018>.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. Viçosa, v. 12, n. 3, p. 211-216, 1988.

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 CA, Silva LS (Eds.) Tópicos em ciência do solo. *Soc Bras Ciência do Solo*, p.49-134, 2007.

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

RESENDE, C. C. F.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; FERRO, R. A. C.; MOREIRA, A. N.; ROSA, G. G. Integração lavoura pecuária e floresta: Uma visão conceitual. In: *Anais da 11ª Semana do Curso Zootecnia –SEZUS*, 2017.

ROCHA, A. A.; SOUZA, D. G.; SILVA, C. S. R. A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINOLA, J. A. A. E.; ARAÚJO, E. S. Volatilização de amônia a partir de diferentes adubos orgânicos em função do tempo após a aplicação no solo. In: *Semana Científica Johanna Dobereiner, Embrapa Agrobiologia*, Seropédica, 2017.

ROCHA, A. E.; CATUNDA, P. H. A, DIAS, L. J. B. S. **Relatório Técnico de Classificação da Vegetação do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Amazônico**, São Luís, 2020.

ROSA, M.E.C; OLSZEWSKI, N; MENDONÇA, E.S; COSTA, L.M; CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500016>

ROSADO, T. L.; GONTIJO, I. Adubação nitrogenada em pastagens: os resultados promissores obtidos na pesquisa e a realidade enfrentada pelos produtores. *Revista Vértices*, v. 19, n. 1, p. 163–174, 2017.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. *Colloquium Agrariae*, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. *Colloqu Agrar*, v.14, n.1, p.1-15, 2018.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesqui Agropecu Bras*, v.46, p.1349-1356, 2011.

- SAMUEL, A. L.; EBENEZER, A. O. Mineralization Rates of Soil Forms of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium as Affected by Organomineral Fertilizer in Sandy Loam. *Advances in Agriculture*, v.2014, p.5. 2014.
- SANTOS, M. E. R.; DA FONSECA, D. M.; GOMES, V. M.; DA SILVA, S. P.; SILVA, G. P.; CASTRO, M. R. S. A. E. Correlações entre características morfológicas e estruturais em pastos de capim-braquiária. *Ciênc Anim Bras*, v.13, n.1, p.49-56, 2012.
- SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; VALADÃO, D.; OLIVEIRA, F. L. R. D.; MACHADO, V. D.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. D. F. Brachiaria physiological parameters in agroforestry systems. *Ciência Rural*, v.47, p.2-7, 2017.
- SENEVIRATNE, G. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol Fertility Soil*, v.31, n.1, p.60-64, 2000.
- SILVA, V. J.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVA, L. S.; YASUOKA, J. I.; ALMEIDA, I. C. L. Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of 'Mulato II' Brachiariagrass. *Crop Sci*, v.56, p.2054–2061, 2016.
- SMITH, J. L. Cycling of nitrogen through microbial activity. In: Hatfield JL, Stewart BA (Ed.) *Soil biology: effects on soil quality*. Boca Raton: CRC Press, p.91-120, 1994.
- SOLLENBERGER, L. E.; MOORE, J. E.; ALLEN, V. G.; PEDREIRA, C. G. S. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Sci*, v.45, n.3, p.896-900, 2005.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa Cerrados, Planaltina, 2004.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Rev Bras Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1829-1836, 2009.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Rev Bras Ciência do Solo*, v.33, n.1, p.129-136, 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Embrapa, Brasília, 2017.
- UDAWATTA, R. P.; GANTZER, C. J.; JOSE, S. Agroforestry Practices and Soil Ecosystem Services. *Soil Health Intensification Agroecosyt*, p.305–333, 2017.
- VEZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. Precision livestock farming for pigs. *Anim Front*, v.7, p.32–37, 2017

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Review Plant Biology**, v.63, p.153-182, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n.13, p.1467-1476, 1988.