



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**



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

MARIA KAROLINE DE CARVALHO RODRIGUES DE SOUSA

**ATRIBUTOS DO SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA**

MARIA KAROLINE DE CARVALHO RODRIGUES DE SOUSA

**ATRIBUTOS DO SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA**

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

Orientador: Prof^o Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Co-orientadora: Prof^a Dra. Valéria Xavier de Oliveira
Apolinário

Sousa, Maria Karoline de Carvalho Rodrigues de.

Atributos do solo e ciclagem de nutrientes em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada / Maria Karoline de Carvalho Rodrigues de Sousa. – São Luís, 2021.

87 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

Coorientadora: Profa. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário.

1. Matéria orgânica. 2. Nitrogênio. 3. Sistema integrado. I. Título.

CDU: 631.84

Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665

MARIA KAROLINE DE CARVALHO RODRIGUES DE SOUSA

**ATRIBUTOS DO SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA**

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

Orientador: Prof^o Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Co-orientadora: Prof^a Dra. Valéria Xavier de Oliveira
Apolinário

Aprovada em 08/07/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz
Orientador
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Dr. Hiran Marcelo Siqueira da Silva
Membro 1
Universidade da Flórida-UF

Dr. Joaquim Bezerra Costa
Membro 2
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Balsas - MA
2021

A Deus, pelo dom da vida!

*Aos meus pais biológicos, Maria Auxiliadora de Carvalho e José Rodrigues de Sousa (in
memoriam) e*

*Aos meus pais de coração, Leonor Cristina Rosa e João de Deus Carvalho, por todo carinho,
amor e suporte em todos os momentos da minha vida.*

*Aos mestres Prof^a. Valéria Apolinário, Dr Joaquim Costa e Prof^o. Luciano Muniz, exemplos
de vida e profissão, referências e inspiração, ao qual tenho enorme gratidão.*

DEDICO

“O que não te desafia, não te transforma! Crescer dói e dá trabalho!”

Autor desconhecido

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”

São Francisco de Assis

AGRADECIMENTOS

Ao meu grande Deus, por toda honra e glória sobre a minha vida!

Aos meus pais biológicos, Maria Auxiliadora de Carvalho e José Rodrigues de Sousa (*in memoriam*) por todo carinho, amor, dedicação, apoio, esforço depositado ao longo da vida, que com muita dificuldade não mediram esforços para me proporcionar o bem mais valioso de um ser: a educação! E por me ensinarem a prezar os valores pessoais para que eu me tornasse uma pessoa íntegra na sociedade.

Aos meus pais de coração, Leonor Cristina Rosa e João de Deus Carvalho por todo apoio e suporte na realização de mais uma etapa importante da minha vida profissional, sem dúvidas, serei eternamente grata pela oportunidade, confiança, incentivo e por terem acreditado em mim.

Aos meus irmãos biológicos, José Rodrigues de Sousa e Francisco Carvalho Rodrigues de Sousa, e aos irmãos de coração, Alexandre Rosa Carvalho, Rubem Wilson Rosa Carvalho pelos momentos de alegrias e companheirismo em mais uma jornada da minha vida.

Ao meu orientador, professor Luciano Cavalcante Muniz, que tenho grande respeito e admiração, pela orientação, apoio, dedicação, paciência, e esforço para realização deste trabalho. Obrigada pelo exemplo de pessoa e profissional, e pela confiança depositada em mim, ao longo da minha jornada profissional, sendo orientada de graduação e pós-graduação. Grata pelas oportunidades únicas e inesquecíveis que me foram ofertadas.

A minha Co-orientadora, professora Valéria Xavier de Oliveira Apolinário, a qual tenho imenso carinho e admiração, obrigada pela confiança, orientação, e suporte na realização deste trabalho e contribuições na minha vida pessoal e profissional. Um Ser e profissional exemplo, referência e inspiração que nos incentiva com sabedoria a ser profissionais diferenciados a cada dia.

Ao pesquisador Dr Joaquim Costa, pelos ensinamentos e contribuições na minha vida, sendo o responsável por hoje está trilhando o caminho da pós-graduação. Obrigada pelo exemplo e por todo apoio, incentivos e confiança ao longo de mais esta jornada.

Aos professores/pesquisadores que tenho como referência, Thais Corrêa e William Mochel pelo exemplo e contribuições. Ao Dr Vinícius Franzini e José Benício pelo suporte, apoio e orientações diretas na realização desta pesquisa.

A família GINTEGRA, honra e privilégio de fazer parte de um grupo de pesquisa diferenciado, que acredita no potencial do seus integrantes. Obrigada de coração, a cada um, por tanto esforço, dedicação, empenho, apoio e suporte para que fosse possível a

concretização desta pesquisa, sem vocês nada disso seria possível. Não citei nome porque são muitos, mas sabem que de forma individual, ficam meus sinceros agradecimentos a todos vocês e o sentimento sublime de GRATIDÃO.

Aos amigos (as), que criei laços de amizade e tenho grande admiração: Victor Ribeiro, Thaís Figueiredo e Raabe Alves pela amizade, parceria, suporte e apoio em todos momentos percorridos ao longo de mais esta etapa. Pelas contribuições, aprendizados e troca de experiências que compartilhamos e que sem dúvidas nos tornaram pessoas e profissionais melhores.

Aos meus familiares e amigos do meu Piauí, que mesmo com a distância deram-me apoio e incentivo e por entenderem minha ausência em momentos familiares importantes, apenas confiaram em mim.

A turma do PPGAA, cheia dos sotaques, que batizamos de AMATOPI (Amapá, Maranhão, Tocantins e Piauí) pela amizade e momentos compartilhados: Raabe, Victor, Juliana, Luara, Valéria, Célio, Marciane, Rayane, Henrique, Joe, Mydilane, Walter e Daniel.

A professora Ana Herrera e professor Robert, pelo imenso apoio e suporte com as análises e estatística dos dados, agradeço de coração o auxílio que me deram e a contribuição direta no enriquecimento deste trabalho.

Aos funcionários do laboratório de Solos Neto, Nilson, Jade, Dona Lu, Sr Fernando, Alisson, Judson e aos seguranças Sr Ricardo, Sr Cesário e Sr Diêgo pelo suporte e momentos de descontração tornando a rotina mais fácil e leve. Aos técnicos de laboratório, João Reis e Josael, pelo apoio, disponibilidade e auxílio nas análises.

Aos funcionários da Fazenda Muniz, Seu Ronaldo e Dona Neide, e Fazenda Feitosa, Seu João, que nos deram muito suporte e auxílio nas avaliações em campo.

Aos amigos dos laboratórios de Cultura de Tecidos, Fitopatologia e de Pós-colheita (LAPOC), em especial ao amigo Luís Carlos Raifere, pelo suporte, amizade e pronta disponibilidade em auxiliar e contribuir com esta pesquisa.

À UEMA, pela realização deste Curso e concessão da bolsa e apoio financeiro para realização desta pesquisa. À Embrapa Cocais e ao IFMA.

Ao programa de Pós – Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA.

RESUMO

Conhecer a influência da adubação nitrogenada mineral em sistemas agrossilvipastoris e os seus efeitos sobre os atributos do solo e produção de forragem, assim como seu papel no processo de ciclagem de nutrientes é essencial para promover o uso eficiente dos nutrientes nesse sistema de produção. Desse modo, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada mineral e do componente florestal na produção de forragem, nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo, na decomposição e composição química de serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv Marandu e excreta bovina, em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense. O experimento foi conduzido em 2019 e 2020, na Unidade de Referência Tecnológica - URT em ILPF da EMBRAPA Cocais em Pindaré Mirim – MA. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro tratamentos de adubação nitrogenada (0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) e três repetições em uma área total de 3 ha divididos em doze parcelas iguais, sendo as parcelas mantidas sob lotação contínua com dois animais “testes”, e com taxa de lotação variável com animais de “ajuste”, novilhos anelados com peso médio de ±180 kg. Para efeito de avaliação da produção de forragem e atributos do solo, as amostragens foram feitas por meio de transectos perpendiculares as fileiras duplas de eucalipto em cada parcela experimental. Este foi dividido em cinco pontos: P1 (0 m), P2 (1,75 m), P3 (5,25 m), P4 (8,75 m) e P5 (12,25 m), que corresponderam às distâncias do renque de eucalipto. Para cada uma das referidas distâncias, foi coletada a forragem para avaliar a produção de matéria seca de forragem verde e seca e em seguida foram abertas as minitrincheiras de 30 x 30 x 30 cm para coleta de amostras indeformadas, nas profundidades de: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm, para determinação dos atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total). Para os atributos químicos do solo (frações de carbono orgânico), coletaram-se amostras deformadas nas mesmas profundidades no sentido perpendicular as minitrincheiras. Para a avaliação da decomposição da serrapilheira do capim Marandu e da excreta bovina, foram utilizadas amostras de folhas senescentes e fezes, que foram incubadas em sacos de náilon, em áreas de exclusão, em 2019 e 2020. Foram determinados a composição química Matéria Seca (MS), Matéria Orgânica (MO), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), N, C, e relação C:N. Os resultados de produção de massa de forragem nas frações verde e seca do capim marandu não diferiram ($P > 0,05$) em função da adubação nitrogenada, contudo a massa de forragem verde foi influenciada pela distância da fileira dupla de eucalipto, com menor produção de 1733 kg MS ha⁻¹, 49% da massa total, mais próximo das árvores. 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 e 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. Houve decréscimo de carbono orgânico associado aos minerais (COam) com doses até 278 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. O componente arbóreo influenciou a macro e microporosidade do solo, contudo sem efeito para as frações de carbono orgânico e densidade do solo. 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. Os valores dos atributos variaram 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 produção de forragem verde foi reduzida assim como a microporosidade do solo, e o inverso acontece com a macroporosidade do solo próximo da fileira dupla de árvores em sistema agrossilvipastoril. O uso da adubação

nitrogenada em sistema agrossilvipastoril modifica as frações físicas de carbono orgânico do solo, reduzindo seus teores em profundidade mesmo durante um período relativamente curto de implementação do sistema. 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. A decomposição de serrapilheira entre os anos, 2019 e 2020, foi influenciada pela adubação nitrogenada, com efeito triplo ($P < 0,0001$) entre os níveis de adubação x tempo x ano. A velocidade média de decomposição foi menor no segundo ano, com $k = 0,00589925 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ contra $k = 0,00798675 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no primeiro ano. A mineralização média de N na serrapilheira foi 74% e nas fezes 17% que proporcionaram um aporte anual de $146 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Não foram observadas diferenças na decomposição e composição química da excreta ($P > 0,05$) entre as doses e o tempo de incubação para as variáveis analisadas. Ambos os materiais, serrapilheira e excreta apresentaram alta relação C:N, acima de 30:1, revelando a maior dificuldade de degradação do material. Os níveis de nitrogênio aplicados não influenciaram a decomposição da serrapilheira e excretas. A contribuição dos nutrientes via decomposição da serrapilheira foi mais rápida que no componente excreta, devido a maior concentração de nutrientes e taxa de decomposição. O tempo de incubação de 128 dias não foi suficiente para expressar o comportamento real da decomposição na serrapilheira. Assim se torna necessário cada vez mais experimentos a longo prazo que avaliem a decomposição de nutrientes em pastagens tropicais fertilizadas com N.

Palavras-chave: Decomposição, Matéria orgânica, Nitrogênio, Sistema integrado.

ABSTRACT

Knowing the influence of mineral nitrogen fertilization on agroforestry systems and its effects on soil attributes and forage production, as well as its role in the nutrient cycling process, is essential to promote the efficient use of nutrients in this ecosystem. Thus, the objective was to evaluate the effects of mineral nitrogen fertilization and forestry component on forage production, physical attributes and soil organic carbon fractions, on decomposition and chemical composition of Marandu grass litter and bovine excreta, in an agrosilvopastoral system, in the humid tropics of Maranhão. The experiment was conducted in 2019 and 2020, at the Technological Reference Unit - TRU in ICLF of EMBRAPA Cocais in Pindaré Mirim - MA. A randomized block design was used, with four nitrogen fertilization treatments (0, 100, 200 and 400 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) and three replications in a total area of 3 ha divided into twelve equal plots kept under continuous stocking with two “tersters” animals, and with a variable stocking rate with “adjustment” animals, annealed steers with an average body weight of 150 to ±180 kg. For the purpose of evaluating forage production and soil attributes, samples were taken through transects perpendicular to the double rows of eucalyptus in each experimental plot. This was divided into five points: P1 (0 m), P2 (1.75 m), P3 (5.25 m), P4 (8.75 m) and P5 (12.25 m), which corresponded to the distances of the eucalyptus row. For each of these distances, the forage was collected to evaluate the production of dry matter of green forage and dry and then the mini trenches of 30 x 30 x 30 cm were opened to collect undeformed samples in the depths: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 cm, to determine physical attributes (density, macroporosity, microporosity and total porosity). For the chemical attributes of the soil (organic carbon fractions), deformed samples were collected at the same depths perpendicular to the mini-trenches. To evaluate the decomposition of Marandu grass litter and bovine excreta, samples of senescent leaves and feces were used, which were incubated in nylon bags, in exclusion areas, in 2019 and 2020. The chemical composition of Dry Matter (DM), Organic Matter (OM), Fiber in Neutral Detergent (NDF), Fiber in Acid Detergent (ADF), N, C, and C:N ratio were determined. The results of forage mass production in the green and dry fractions of the marandu grass did not differ ($P > 0.05$) due to nitrogen fertilization, however the green forage mass was influenced by the distance of the double row of eucalyptus, with less production of 1733 kg DM ha⁻¹, 49% of the total mass, closer to the trees. The organic carbon fractions ranged between 10.32 g kg⁻¹ and 7.56 g kg⁻¹ for total organic carbon (TOC) at the estimated doses of 17.14 and 411.43 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, respectively. The particulate organic carbon (POC) contents 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. There was a decrease in organic carbon associated with minerals (OCAM) at doses up to 278 kg of N ha⁻¹ yr⁻¹. The arboreal component influenced the macro and microporosity of the soil, however without effect for the fractions of organic carbon and density of the soil. 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 attributes, with the exception of microporosity. The attribute values ranged from 0.54 to 0.56 m³ m⁻³ for total porosity, from 0.12 to 0.15 m³ m⁻³ for macroporosity and from 1.45 to 1.49 g cm⁻³ for density

of the soil at depths 0-10 and 20-30 cm. The production of green forage was reduced as well as the soil microporosity, and the opposite happens with the soil macroporosity close to the double row of trees in an agrosilvopastoral system. The use of nitrogen fertilization in agrosilvopastoral system modifies the physical fractions of organic carbon in the soil, reducing its levels 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 from the double rows of trees, however, it depends on the type of management used in the area. Litter decomposition between the years 2019 and 2020 was influenced by nitrogen fertilization, with a triple effect ($P < 0.0001$) between the levels of fertilization $\times$ time $\times$ year. The average speed of decomposition was lower in the second year, with $k = 0.00589925 \text{ g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ against $k = 0.00798675 \text{ g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ in the first year. The average N mineralization in litter was 74% and 17% in feces, which provided an annual input of $146 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectively. There were no differences in the decomposition and chemical composition of excreta ($P > 0.05$) between doses and incubation time for the analyzed variables. Both materials, litter and excreta, presented a high C:N ratio, above 30:1, revealing the greater difficulty of degradation of the material. The nitrogen levels applied did not influence litter and excreta decomposition. The contribution of nutrients via litter decomposition was faster than in the excreta component, due to higher nutrient concentration and decomposition rate. The incubation time of 128 days was not enough to express the real behavior of the litter decomposition. Thus, there is an increasing need for long-term experiments to assess nutrient decomposition in N-fertilized tropical pastures.

Keywords: Decomposition, Organic matter, Nitrogen, Integrated system

LISTA DE SIGLAS

CAM – Carbono Orgânico Associado aos Minerais

COP – Carbono Orgânico Particulado

COT – Carbono Orgânico Total

COS – Carbono Orgânico do Solo

C - Carbono

Ds - Densidade do solo

FDA - Fibra em Detergente Ácido

FDN - Fibra em Detergente Neutro

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

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2. Influência da adubação nitrogenada e do componente florestal na produção de forragem e atributos do solo em sistema agrossilvipastoril

Figura 1 - Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2020) + precipitação média (2016 a 2021) e do período de coleta de forragem e solos no município de Pindaré-Mirim, MA. 41

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..... 44

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. 49

Capítulo 3. Decomposição de serrapilheira e excreta em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada

Figura 1 - Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2021) + precipitação média (2016 a 2021) e período de coleta + incubação de serrapilheira e excreta, no município de Pindaré-Mirim, MA. 67

Figura 2 - Biomassa remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril 2A (2019) e B (2020). 68

Figura 3 - Carbono (C) remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019. 73

Figura 4 - Nitrogênio (N) remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019..... 74

Figura 5 - Relação C:N através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019. 73

Figura 6 - Fibra em detergente neutro (FDN) através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019..... 74

Figura 7 - Fibra em detergente ácido (FDA) através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019..... 75

Figura 8 - Biomassa remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	76
Figura 9 - Carbono (C) remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	77
Figura 10 - Nitrogênio (N) remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	78
Figura 11 - Relação C:N através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	84
Figura 12 - Fibra em detergente neutro (FDN) através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	82
Figura 13 - Fibra em detergente ácido (FDA) através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.....	82

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2. Influência da adubação nitrogenada e do componente florestal na produção de forragem e atributos do solo em sistema agrossilvipastoril

Tabela 1 - Massa de forragem verde e massa de forragem seca sob diferentes doses (0, 100, 200, 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹). 48

Tabela 2 - Massa de forragem verde e massa de forragem seca kg MS ha⁻¹, em diferentes distâncias do componente arbóreo no transecto em sistema agrossilvipastoril..... 49

Tabela 3 - Valores médios das frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em função das distâncias do componente arbóreo no transecto avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil. 50

Tabela 4 - 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. 51

Capítulo 3. Decomposição de serrapilheira e excreta em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada

Tabela 1 - Composição química da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, antes da incubação em 2019, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril..... 68

Tabela 2 - Composição química da excreta bovina em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, antes da incubação em 2020, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril..... 66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO	22
1. Sistema Agrossilvipastoril	22
2. Nitrogênio na interface Solo – Planta – Animal	23
2.1 Solo.....	23
2.2 Planta.....	26
2.3 Animal.....	27
3. Componente florestal – Produção de forragem e atributos do solo	28
Referências.....	29
 CAPITULO 2. INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E DO COMPONENTE FLORESTAL NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM E ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL	 38
2. Material e Métodos	41
2.1 Histórico da área.....	41
2.2 Início do experimento.....	42
2.3 Coleta e análise de forragem e solo.....	43
3. Resultados e Discussão	46
3.1 Produtividade do capim Marandu	46
3.2 Atributos do solo	48
Referências.....	55
 CAPITULO 3. DECOMPOSIÇÃO DE SERRAPILHEIRA E EXCRETA EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA	 60
1. Introdução	62
2. Material e Métodos	63
2.1 Decomposição de serrapilheira	64
2.2 Decomposição de fezes	65
2.3 Análises estatísticas.....	66
3. Resultados e Discussão	67
3.1 Decomposição e composição química de serrapilheira.....	67
3.2 Decomposição e composição química da excreta	75
4. Conclusões	83
Referências.....	84

INTRODUÇÃO

A região do trópico úmido possui características de clima e solo peculiares que constituem uma barreira para a inserção de sistemas agrícolas sustentáveis. A região apresenta altos índices pluviométricos e altas temperaturas, e os solos são em grande parte de baixa fertilidade natural, em torno de 60% derivados de rochas sedimentares clásticas (Aguilar et al. 2010). O solo é classificado como franco-arenoso com altas percentagens de areia fina, teores de silte entre 15 e 20%, argila entre 10 e 15%, altamente intemperizados, com baixa capacidade de retenção de cátions e pouca disponibilidade dos principais nutrientes vegetais (Moura et al. 2008).

Nessas condições, a baixa reposição de nutrientes em áreas de pastagens, o clima tropical e os solos arenosos podem dificultar a disponibilidade de N em quantidades satisfatórias. A exploração racional de pastagens requer cuidados, principalmente, quanto ao fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas às plantas, entre eles o nitrogênio que é um dos grandes responsáveis pela produtividade e valor nutritivo da forrageira. No Brasil, a espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu ocupa grande parte das áreas de pastagens cultivadas, devido a sua adaptação as mais variadas condições de solo e clima, com vantagens sobre outras gramíneas (Valle et al. 2010).

Uma estratégia para incrementar a eficiência do uso de nutrientes em solos arenosos do trópico úmido pode ser através da melhoria do ambiente edáfico, com deposição natural de serrapilheira ou por meio da adição de leguminosas. Uma proposta viável a essa estratégia, é o sistema agrossilvipastoril, que consorcia espécies de árvores ou arbustos em pastagens com a presença de animais, diversificando a exploração de diversos serviços ecossistêmicos e a fonte de renda (Pinheiro et al. 2018). Esses sistemas podem ser adotados e eficaz em regiões tropicais, onde os solos podem armazenar mais C e N do que em outros ecossistemas devido às temperaturas mais altas e maior atividade microbiana após períodos de chuva (Cárdenas et al. 2019).

A diversidade de componentes nesse sistema propicia ainda, uma ciclagem de nutrientes, que é proveniente da decomposição do material vegetal e/ou animal depositado sobre o solo. O pleno conhecimento da ciclagem é importante para o uso eficiente dos nutrientes do solo, dos resíduos e dos fertilizantes (Anghinoni et al. 2011). Sabendo que a fertilização com nitrogênio é frequentemente usada para aumentar a produção de forragem, vale ressaltar que pode promover efeitos secundários na dinâmica dos nutrientes da pastagem, como alteração da taxa de deposição de serrapilheira (Dubeux et al. 2006), onde o N elevado

pode alterar as composições da comunidade de microrganismos do solo, reduzir a biodiversidade microbiana (Allison et al. 2007), e inibir a atividade da fauna do solo, suprimindo a decomposição da serrapilheira e a liberação de nutrientes.

Assim como a serrapilheira, a excreta animal é responsável pelo retorno de aproximadamente 70 a 95% dos nutrientes ingeridos pelos animais, tanto na forma de urina quanto de fezes (Balbinot Jr et al. 2009), cuja decomposição se constitui como uma das principais formas de retorno de nutrientes para o ambiente da pastagem. Desta forma, compreender os fluxos de nutrientes sob esses sistemas pode viabilizar a manutenção da fertilidade do solo, conhecimento especialmente importante em solos tropicais, nos quais o alto grau de intemperismo frequentemente resulta em solos lixiviados e de baixa fertilidade (Pinho et al. 2012).

O componente florestal pode influenciar a maioria das características da pastagem no sistema agrossilvipastoril, de acordo com sua distância da fileira da árvore (Paciullo et al. 2011), apresentando diferenças significativas na qualidade e quantidade de radiação solar no sub-bosque neste sistema devido ao arranjo espacial e densidade das árvores (Rodrigues et al. 2014) assim como influenciar os atributos do solo, que a longo prazo, causam uma desuniformidade na fertilidade e física do solo, alterando a exploração dos nutrientes e deposição de matérias dentro do sistema e estruturação do solo (Borges et al. 2018).

Nesse contexto este trabalho baseou-se na hipótese que a adubação nitrogenada mineral e o componente florestal, sob as condições de trópico úmido, influenciam a produtividade de forragem, os atributos do solo e a decomposição de serrapilheira e excreta animal em sistema agrossilvipastoril.

Diante disso, com este trabalho objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada mineral e do componente florestal na produção de forragem, nos atributos físicos e frações de carbono orgânico do solo e na decomposição e composição química de serrapilheira do capim Marandu e excreta bovina, em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense.

CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO

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). Conforme Balbino et al. (2011) são inúmeras as possibilidades de combinação espaço-temporal entre os componentes agrícola, pecuário e florestal, nas diferentes modalidades: sistema agropastoril (ILP); sistema silvipastoril (IPF); sistema silviagrícola e sistema agrossilvipastoril (ILPF), 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).

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 não são sustentáveis e assim, sistemas agrícolas altamente produtivos que tenham um impacto ambiental menor são urgentemente necessários (Ponisio et al. 2015).

2.Nitrogênio na interface Solo – Planta – Animal

2.1 Solo

Um dos fatores que reduz a baixa eficiência de uso de nutrientes nos solos da Amazônia maranhense seria 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 alta pluviosidade (Aguilar et al. 2010). O N é um nutriente que possui uma complexa dinâmica no solo, devido a sua grande mobilidade, sofre inúmeras transformações, transformando-se em formas gasosas e, com isso, há muitas perdas por volatilização.

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

A lixiviação e a desnitrificação são os principais processos envolvidos na perda de N proporcionando, a perda de N na forma de nitrato (NO_3) decorrente da predominância de

cargas negativas na camada superficial do solo e da baixa interação química do NO_3^- com os minerais do solo. Entretanto, na forma de amônio (N-NH_4^+) a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo. Alguns fatores influenciam a lixiviação do N, sendo estes relacionados ao manejo inadequado do solo, como: fontes e forma, classe do solo e precipitação pluvial, determinando o nível da eficiência de N aplicado (Xu et al. 2013).

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 complexa dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera resulta em uma baixa eficiência agrônômica em função das perdas ocorridas para o ambiente, com destaque para a volatilização de NH_3 uma das mais importantes (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.

Os fertilizantes nitrogenados minerais como a ureia, quando utilizados em quantidades excessivas ou em situações desfavoráveis com elevado teor de umidade do solo e alta temperatura, podem ser perdidos, convertidos em poluentes ambientais de solos e rios, através do nitrato e do amônio, e ainda ser emitido para atmosfera na forma de óxido nitroso formando os Gases de Efeito Estufa (Mota et al. 2015).

Nos trópicos, devido às condições mais altas de temperatura e umidade, os solos são altamente intemperizados e contêm menos nutrientes cujas estas condições são propícias para a decomposição da matéria orgânica (Udawatta et al. 2017). A utilização de níveis inferiores ou de quantidades excessivas de fertilizante nitrogenado pode influenciar na redução de produtividade em plantas forrageiras (Santos et al. 2012; Cabral et al. 2016) e degradação de solos agrícolas (Delben et al. 2011; Rosado et al. 2014).

A qualidade do solo pode ser mensurada a partir dos seus atributos físicos. Esses parâmetros são utilizados como importantes indicadores no levantamento de impactos provenientes de diferentes usos e manejos aplicados ao solo (Stone et al. 2015). Neste sentido, faz necessária sua avaliação devido a sua sensibilidade às alterações no manejo do solo. Outro importante indicador de qualidade de solo, e um dos mais estudados devido a suas várias

funções essenciais no solo, é a matéria orgânica do solo (MOS) que é um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas (Rossi et al. 2011). A MOS é a fonte primordial de carbono (C) terrestre, portanto, constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana (Parron et al. 2015).

A MOS exerce importante papel na melhoria das propriedades físicas, biológicas e químicas do solo, estando a sua permanência relacionada a fatores de manejo, com destaque para a adubação nitrogenada em cobertura, que pode aumentar a taxa de decomposição do resíduo sobre o solo (Potrich et al. 2014). Enquanto a adição de N via fertilizante é comumente descrita para aumentar os estoques de MOS, pelo aumento da taxa de resíduos devolvidos ao solo, por outro lado, a aplicação em longo prazo da adubação com N também pode causar uma perda de MOS, pela estimulação da mineralização (Nivelle et al. 2016).

Essa adição de N 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.

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.

2.2 Planta

O uso de adubação nitrogenada nas pastagens melhora as propriedades edáficas do solo, pela maior quantidade de biomassa remanescente e produção de raízes, que aumentam os teores de carbono e melhora significativamente as condições de aeração e capacidade de infiltração de água (Loss et al. 2012). Nesse contexto, pastagens bem manejadas sob sistemas ILPF, configuram para aumentar o balanço do C e os seus estoques no solo, devido à maior produção de biomassa associada aos sistemas radiculares e ao aumento da proteção física da MOS contra a mineralização (Conceição et al. 2017).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes no crescimento e renovação de tecidos das plantas (Bourscheidt et al. 2019), constitui os aminoácidos, proteínas, ácido nucléicos, nucleotídeos e coenzimas (Taiz e Zeiger 2002). A introdução do nitrogênio ao sistema de pastagem pode ocorrer de diversas maneiras, como pela adubação nitrogenada, deposição atmosférica (raios ou chuvas), fixação biológica por simbiose entre bactéria-leguminosa, e decomposição da serrapilheira ou excreta animal por meio da ciclagem de nutrientes (Dubeux et al. 2013; Bourscheidt et al. 2019).

De modo geral, a adubação nitrogenada em pastos tropicais é a forma mais prática e rápida de fornecer o nutriente ao sistema (Bourscheidt et al. 2019), trazendo diversos benefícios ao pasto, como aumento na taxa de aparecimento foliar, taxa de alongamento foliar, índice de área foliar e a densidade de perfilhos, o que resulta em maiores taxas de acúmulo de forragem (Fagundes et al. 2006; Pereira et al. 2015; Yasuoka et al. 2017; Sales et al. 2019). Melhorias nos aspectos nutricionais da planta também são observadas, como aumento no teor de proteína bruta e digestibilidade (Sollenberger et al. 2009; Silva et al. 2016; Delevatti et al. 2019).

A adubação nitrogenada nas pastagens, além de contribuir para elevar a produção de massa, aumenta a decomposição do resíduo orgânico que recobre o solo (De Sá et al. 2000), alterando a concentração e desempenho da biomassa microbiana (Delbem et al. 2011) influenciando a ciclagem de nutrientes pela serrapilheira. Neste sentido, práticas de manejo de pastagens, que favoreçam a qualidade e a quantidade de serrapilheira depositada, se tornam fundamentais para o retorno de nutrientes ao solo-planta (Krishna e Mohan 2017).

No que diz respeito à serrapilheira, a sua qualidade é determinada pela quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos (frações solúveis, nutrientes, lignina, celulose, compostos fenólicos, carbono, substâncias estimulantes ou alelopáticas), que exercem grande influência sobre as interações da fauna do solo e, conseqüentemente na decomposição (Pinto et al. 2020).

A serrapilheira fornece nutrientes para o solo, os quais serão reabsorvidos pelas plantas, contribuindo para a manutenção dos ecossistemas terrestres (Silva et al. 2007), incluindo as pastagens. A deposição de serrapilheira a partir da folhagem das árvores é um dos principais caminhos para a reciclagem de nutrientes em um sistema silvipastoril (Apolinário 2016). A queda de serrapilheira nesses sistemas pode reciclar nutrientes e reduzir a erosão do solo (Bonanomi et al. 2010).

A decomposição da serrapilheira promove o crescimento da mesofauna e dos microrganismos e aumenta a biodiversidade. Esse processo é regulado principalmente pela relação C:N como um determinante da decomposição facilitada pelos microrganismos (Apolinário et al. 2014) que também é influenciada por outros fatores ambientais, como fertilidade do solo e adubação, atividade e diversidade de microrganismos e taxa de lotação animal (Dubeux et al. 2006).

2.3 Animal

A presença do animal interfere na relação entre MOS e agregação do solo (Souza et al. 2010), proporcionando aumento no tamanho médio do agregado à medida que os níveis de carbono orgânico aumentam. Também favorece uma troca mais rápida de nutrientes via excretas (Wesp et al. 2016) cuja decomposição é a principal rota de retorno de nutrientes ao ecossistema (Souza et al. 2018). Contudo, essa velocidade de decomposição pode ser potencializada com uso de fertilizantes ou outras práticas agronômicas (Lira et al. 2006; Teixeira et al. 2012) .

O custo crescente do fertilizante N inorgânico limita seu uso em sistemas de pastagem-pecuária, e isso torna difícil manter o N do solo adequado para dar suporte ao crescimento das plantas e sustentar a produção animal (Braz et al. 2013). Contudo, a reposição de nutrientes deve ser realizada buscando a persistência do pasto, principalmente com nitrogênio, que melhora o valor nutricional e a produtividade e tem como principais resultados aumento da produção em kg de matéria seca, refletindo diretamente na capacidade de suporte do sistema, permitindo o uso de maiores taxas de lotação (Paciullo et al. 2017). Assim, aumentar a eficiência da ciclagem de nutrientes é premissa para perenidade a persistência das pastagens.

Na pastagem, a uniformidade da distribuição da excreta é o principal fator que afeta o equilíbrio entre as entradas e saídas desse agroecossistema e consequentemente, as recomendações para reposição de nutrientes por meio da fertilização (Carnevali et al. 2019). Essa heterogeneidade da fertilidade do solo, assim como a irregularidade da produção de

forragem, nesses ambientes é desenvolvida e mantida pelo pastejo seletivo imposto pelo animal.

Em pastagens convencionais, o padrão de distribuição em que os nutrientes são devolvidos à pastagem na forma de fezes e urina não é uniforme (Ferreira et al. 2011). No entanto, nos sistemas agrossilvipastoris, a ciclagem da matéria orgânica ganha sinergia: as árvores retiram os nutrientes das camadas mais profundas e os depositam no solo na forma de serrapilheira; o gado então deposita suas excreções em um padrão de distribuição mais homogêneo (Kruschewsky 2012).

Além dos fatores relacionados ao ambiente, o tipo de alimento consumido pelo animal (gramíneas, leguminosas ou concentrados) e a quantidade de água ingerida podem afetar na quantidade de N excretado (Hristov et al. 2013; Burchill et al. 2017), influenciando assim na volatilização de amônia (NH_3). Nas fezes, o N pode ser excretado na forma de proteínas indigestíveis, proteína endógena, proteína microbiana indigestível e nitrogênio amoniacal (Prados et al. 2016) e na urina ocorre entre 43 a 70% na forma de ureia (Cardoso et al. 2019).

3. Componente florestal – Produção de forragem e atributos do solo

Os sistemas agrossilvipastoris têm sido propostos como meio de intensificar sistemas de produção de carne por associação de árvores, pastagens plantadas e animais (Paciullo et al. 2017). Nestes sistemas, a melhoria ambiental ocorre de várias maneiras, incluindo melhorias nas condições físicas e químicas do solo (Lemaire et al. 2014), bem como melhorando o bem-estar dos animais que pastejam (Tarazona Morales et al. 2017).

Esses sistemas agrossilvipastoris têm sido utilizados em pastagens com bons resultados para a produção de forragem, bem-estar animal e fertilidade do solo, além de aumentos no armazenamento lábil de C e N e vários outros benefícios para a comunidade microbiana e para a MOS (Jhariya et al. 2018). A escolha de espécies arbóreas para compor esses sistemas passa por critérios de seleção dentre eles, a ausência de efeitos negativos no desenvolvimento de outras culturas (Damásio et al. 2015).

Para tanto, os efeitos do componente florestal podem ser contrastantes. Por um lado, o sombreamento pode oferecer um maior conforto aos animais (Karvatte et al. 2016) e, por outro lado, pode dificultar o desenvolvimento do pasto (Crestani et al. 2017), como exemplo, as gramíneas forrageiras tropicais, que geralmente são mais eficientes e melhor adaptadas ao sol pleno (Santos et al. 2017).

O componente florestal sob sistema de integração exerce papel de fonte e dreno na dinâmica de nutrientes para o solo (Foliet 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).

Espécies do gênero *Urochloa* são tolerantes ao sombreamento moderado, devido aos seus ajustes morfofisiológicos, tais como aumento da área foliar específica e taxa de alongamento foliar, e mesmo em condições adversas de sombreamento, nota-se pouca redução ou manutenção da produtividade (Paciullo et al. 2007). A *Urochloa brizantha* cv Marandu é uma das espécies com melhores resultados quando cultivada na condição de sombreamento moderado com a redução de 25 a 35% da luminosidade, sendo a produção de massa de forragem semelhante ou maior que a pleno sol (Soares et al. 2009).

Em estudo feito por Pezzopane et al. (2018) observaram que as árvores reduziram a luminosidade disponível para as plantas que crescem próximas ao seu dossel e também influenciaram os aspectos nutritivos e morfológicos das plantas. Avaliações das características morfogênicas, estruturais e de produção, são realizadas nas pastagens a fim de evidenciar a persistência da planta neste tipo de sistema de produção (Araújo et al. 2015).

No entanto, em sistemas agrossilvipastoris, poucos estudos buscam compreender a influência das árvores sobre a produção de forragem e atributos do solo e os efeitos da distância do componente arbóreo nas áreas adjacentes às fileiras das árvores. Esse efeito difere de acordo com a distância das árvores devido à alguns fatores como a deposição de serrapilheira, sombreamento, face de exposição à radiação solar, modo de pastejo dos animais, dentre outros. Assim, vale ressaltar a importância de se avaliar as mudanças que ocorrem na cultura em consórcio e a variação dos atributos do solo em função de diferentes distâncias das fileiras de plantio das árvores.

Referências

Aguiar ADCF, Bicudo SJ, Sobrinho JRSC, Martins ALS, Coelho KP, Moura EG (2010) 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* 86(2):189-198. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9283-6>

Allison SD, Hanson CA, Treseder KK (2007) Nitrogen fertilization reduces diversity and alters community structure of active fungi in boreal ecosystems. *Soil Biol Biochem* 39:1878–1887. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.001>

Anghinoni I, Assmann JM, Martins AP, Costa SE, Carvalho PCF (2011) Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. In: Encontro Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil, Pato Branco Synergismus scyentifica 1-8

Apolinário VXO, Dubeux Jr JCB, Lira MA, Ferreira RLC, Mello ACL, Coelho DL, Muir JP, Sampaio EVSB (2016) Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. *Crop Sci* 56:1356–1363. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.09.0588>

Apolinário VXO, Dubeux Jr JCB, Mello ACL, Vendramini JMB, Lira MA, Santos MVF, Muir JP (2014) Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates and nitrogen fertilizer levels. *Agron J* 106:622–627. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0496>

Araújo DLC, Oliveira ME, Lopes JB, Alves AA, Rodrigues MM, Moura RL, Santos MS (2015) Morphogenetic characteristics and demographic patterns of tillers on andropogon grass under different forage allowances. *Semina: Ciênc Agrárias* 36:3303–3314. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n5p3303-3314>

Araújo EDS, Marsola T, Miyazawa M, Soares LHDB, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR (2009) Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesqui Agropecu Bras* 44(7):769-776. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000700018>

Assis PC, Stone LF, Medeiros JC, Madari BE, Oliveira JDM, Wruck FJ (2015) Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 19(4):309-316. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>

Balbino LC, Barcellos ADO, Stone LF (2011) Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa Cerrados, Brasília

Balbinot Jr AA, Moraes AD, Veiga MD, Pelissari A, Dieckow J (2009) Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciênc Rural* 39:1925-1933

Bernardino FS, Tonucci RG, Garcia R, Neves JCL, Rocha GC (2011) 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* 40:1412-1419. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700003>

Bonanomi G, Incerti G, Antignani V, Capodilupo M, Massoleni S (2010) Decomposition and nutrient dynamics in mixed litter of Mediterranean species. *Plant Soil* 331:481–496. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0269-6>

Bonaudo T, Bendahan AB, Sabatier R, Ryschawy J, Bellon S, Leger F, Magda D, Tichit M (2014) Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European J Agron* 57:43-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>

- Borges WLB, Calonego JC, Rosolem CA (2018) Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agrofor Syst* 93:2111-2119. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>
- Bourscheidt MLB, Pedreira BC, Pereira DH, Zanette MC, Devens J (2019) Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. *Sci Elec Arch* 12:137–147
- Braz SP, Urquiaga S, Alves BJR, Jantalia CP, Guimarães, AP, dos Santos CA, dos Santos SC, Pinheiro EFM, Boddey RM (2013) Soil carbon stocks under productive and degraded *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Sci Soc Am J* 77:914–928 <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0269>
- Burchill W, Lanigan GJ, Forrestal PJ, Misselbrook T, Richards KG (2017) Ammonia emissions from urine patches amended with N stabilized fertilizer formulations. *Nutr Cycl Agroecosyst* 108:163–175. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9847-9>
- Cabral CEA, da Silva LC, Silva EMB, dos Santos CK, Kroth BE, Cabral CHA (2016) Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. *Comunicata Scientiae* 7(1):66-72
- Cárdenas A, Moliner A, Hontoria C, Ibrahim M (2019) Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agroforest. Syst.* 93:229–239. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0234-6>
- Cardoso AS, Oliveira SC, Januszkiewicz ER, Brito LF, Morgado ES, Reis RA, Ruggieri AC (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil Tillage Research* 194:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>
- Carnevalli RA, Mello ACT, Shozo L, Crestani S, Coletti A Jr, Eckstein C (2019) Spatial distribution of dairy heifers' dung in silvopastoral systems. *Ciênc Rural* 49(10). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180796>
- Conceição MCG, Matos ES, Bidone ED, Rodrigues RAR, Cordeiro RC (2017) Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock Forest System in the Brazilian Amazon Region. *Agricultural Sci* 8:904-913. <https://doi.org/10.4236/as.2017.89066>
- Crestani S, Mascheroni JDC, Geremia EV, Carnevalli RA, Mourão GB, Da Silva SC (2017) Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop–livestock–forest integration area. *Crop Pasture Sci* 68(9):859-871. <https://doi.org/10.1071/CP16341>
- Damásio M, da Silva FR, Santos AFA, Neto RMR (2015) Desbaste seletivo em um povoamento de *Tectona grandis* implantado em sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta. *Biodiversidade* 14(3)
- De Sá TCLLM, Vasconcellos CA, Pereira Filho I, França GE, Cruz JC (2000) Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. *Pesqui Agropecu Bras* 35(3):581-589. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000300014>
- Delbem FC, Scabora MH, Soares Filho CV, Heinrichs R, Crociolli CA, Cassiolato AMR (2011) Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo

cultivado com *Brachiaria brizantha*. *Acta Sci Agron* 33(2):361-367. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.3946>

Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports* 9:7596. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>

Dubeux Jr JCB, Santos MVF, Mello ACL (2013) Ciclagem de nutrientes em pastagens. In: Reis RA, Bernardes TF, Siqueira GR (Eds). *Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiro*. Jaboticabal

Dubeux Jr JCB, Muir JP, Apolinário VXO, Nair PKR, Lira MA, Sollenberger LE (2017) Tree legumes: an underexploited resource in warm-climate silvopastures. *Rev Bras Zootec* 46:689–703. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000800010>

Dubeux Jr JCB, Lira MDA, Santos MD, Cunha MD (2006) Fluxo de nutrientes em ecossistema de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: Pedreira CGS et al. (Eds). *As pastagens e o meio ambiente*. In: simpósio sobre o manejo das pastagens. Anais... Piracicaba 439-49

Faccin FC, Marchetti ME, Serra AP, Ensinas SC (2016) Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. *Pesqui Agropecu Bras* 51(12):2000-2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200011>

Fagundes JL, Fonseca DM, Mistura C, Moraes RV, Vitor CMT, Gomide JA, Nascimento D, Casagrande DR, Costa LD (2006) Morphogenetical and structural characteristics of the signalgrass in a nitrogen fertilized pasture evaluated over the seasons of the year. *Rev Bras Zootec* 35:21–29. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000100003>

Ferreira LCB, Machado Filho LCP, Hotzel MJ, Labarrère JG (2011) The effect of different offers shading in the dispersion of the feces of cattle in the pasture. *Rev Bras Agroecol* 6(1):137-146

Foli S, Reed J, Clendenning J, Petrokofsky G, Padoch C, Sunderland T (2014) 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* 3(1):15. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-3-15>

Hristov A, Noh J, Lee C, Meinen R, Montes F, Ott T, Firkins J, Rotz A, Dell C, Adesogan A, Yang W, Tricarico J, Kebeab E, Waghorn G, Dijkstra J, Oosting S (2013) Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions. In: Gerber PJ, Henderson B, Makkar HPS (Eds). *FAO Animal Production Health Paper* 177

Jhariya, MK, Banerjee A, Yadav DK, Raj A (2018) Leguminous trees an innovative tool for soil sustainability. In: Meena R, Das A, Yadav G, Lal R (Eds.) *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Springer Singapore 315–345. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_10

Jose S, Gillespie AR, Pallardy SG (2004) Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agrofor Syst* 61:237–255. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b>

Jose S (2009) Agrossilvicultura para serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais: uma visão geral. *Sistemas Agroflorestais* 76(1):1-10

Karvatt Jr N, Klosowski ES, Almeida RG, Mesquita EE, Oliveira CC, Alves FV (2016) Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Society of Biometeorology* 60:1933-41. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5>

Krishna MP, Mohan M (2017) Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecol Environ* 2:236–249. <http://dx.doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>

Kruschewsky GC, Miller PRM, Porfírio-da-Silva V (2012) Efeito da presença de árvores no comportamento de vacas leiteiras, estudo de caso na região do Arenito Caiuá, PR. *Cad Agroecol* 6(2)

Lemaire G, Franzluebbbers A, de Faccio Carvalho PC, Dedieu B (2014) Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosyst Environ* 190:4-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

Lira MA, Santos MVF, Dubeux Jr JCB, Lira Jr MA, Mello ACL (2006) Forage production systems: Alternatives for livestock sustainability. *Rev Bras Zootec* 35:491–511. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000300037>

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, Anjos LHC (2011) Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. *Pesqui Agropecu Bras* 46(10):1269-1276. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, Anjos LHCD (2011) Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesqui Agropecu Bras* 46:1269-1276. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>

Moraes A, Carvalho PCDF, Lustosa SBC, Lang CR, Deiss L (2014) Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. *Rev Ciênc Agron* 45:1024–1031. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500018>

Moreira GM, Neves JCL, Magalhães CADS, Farias Neto ALD, Sauer G, Silva JFV, Fernandes R (2018) Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. *Rev Árvore* 42(4). <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400005>

Mota MR, Sangoi L, Schenatto DE, Giordani W, Boniatti CM, Dall'Igna L (2015) Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. *Rev Bras Ciência do Solo* 39(2):512-522. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140308>

Moura EG, Albuquerque JM, Aguiar ACF (2008) Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. *Sci Agricola* 65:204-8. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000200014>

Moura EG, Monroe PHM, Coelho MJA, Costa SJRS, Aguiar ACF (2013) Effectiveness of calcined rock phosphate and leucaena prunings as a of nutrients for maize in a tropical soil.

Nair PKR (2011) Sistemas agroflorestais e qualidade ambiental. *J Environ Quality* 40 (3):784-790

Nivelle E, Verzeaux J, Habbib H, Kuzyakov Y, Decocq G, Roger D, Lacoux J, Duclercq J, Spicher F, Nava-Saucedo, JE, Catterou M, Dubois F, Tetu T (2016) Functional response of soil microbial communities to tillage, cover crops and nitrogen fertilization. *Applied Soil Ecol* 108:147-155. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.004>

Paciullo DSC, Pires MFA, Müller MD (2017) Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: Emphasis on silvopastoral systems. *Arch Latinoam Prod Anim* 25:25–35

Paciullo DSC, Castro CRT, Gomide CAM, Maurício RM, Pires MDF, Müller MD, Xavier DF (2011) Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Sci* 141:166-172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>

Parron LM, Garcia JR, Oliveira EB, Brown GG, Prado RB (2015) Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. *Embrapa Cerrados*, Brasília

Pereira LET, Paiva AJ, Guarda VDA, Pereira PM, Caminha FO, Silva SC (2015) Herbage utilisation efficiency of continuously stocked marandu palisade grass subjected to nitrogen fertilisation. *Sci Agrícola* 72:114–123. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0013>

Pezzopane JRM, Santos PM, Cruz PG, Bosi C, Sentelhas PC (2018) An integrated agrometeorological model to simulate Marandu productivity. *Field Crop Res* 224:13–21. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.015>

Pinheiro FM, Nair PR (2018) Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: a review of its ecology, management, and development opportunities. *Forest Syst* 1–16. <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12267>

Pinho RC, Miller RP, Alfaia SS (2012) Agroforestry and the improvement of soil fertility: a view from Amazonia. *Appl Environ Soil Sci* 1-12. <https://doi.org/10.1155/2012/616383>

Pinto MN, Lima RA, Meira-Neto JA (2020) Ecologia funcional: relação do gradiente pedológico e abundância de espécies lenhosas do Cerrado Brasileiro. *Biota Amazônia* 10(1):6-10

Ponisio LC, M'Gonigle LK, Mace KC, Palomino J, De Valpine P, Kremen C (2015) Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc R Soc* 282(1799)

Potrich DC, Marchetti ME, Potrich DC, Ensinas SC, Serra AP, da Silva EF, de Souza NH (2014) Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. *Semina: Ciênc Agrárias* 35(4):1751-1759. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p1751>

Prados LF, Chizzotti ML, Valadares Filho SC, Helena F (2016) Manejo ambiental e predição da excreção de nitrogênio e fósforo por bovinos de corte. In.: Valadares Filho, SC, Silva LFC, Gionbelli MP, Rotta PP, Marcondes MI, Chizzotti M L, Prados LF (3ed) *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-Corte*. Viçosa 311–327

- Quinkenstein A, Pape D, Freese D, Schneider BU, Hüttl RF (2012) 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* 35:382–390. <https://doi.org/10.1155/2012/891798>
- Radomski MI, Ribaski J (2012) Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. *Pesqui Flor Bras* 32(69):53-61
- Resende CCF, Backes C, Santos AJM, Ferro RAC, Moreira AN, Rosa GG (2017) Integração lavoura pecuária e floresta: Uma visão conceitual. In: Anais da 11ª Semana do Curso Zootecnia –SEZUS
- Rocha Jr PR, Silva VM, Guimarães GP (2013) Degradação de pastagens brasileiras e práticas de recuperação. *Enciclopédia Biosfera* 9(17):952-968
- Rocha AA, Souza DG, Silva CSRA, Guerra JGM, Espinola JAAE, Araújo ES (2017) Volatilização de amônia a partir de diferentes adubos orgânicos em função do tempo após a aplicação no solo. In: Semana Científica Johanna Dobereiner, EmbrapaAgrobiologia, Seropédica
- Rodrigues COD, Araújo SADC, Viana MCM, Rocha NS, Braz TGDS, Villela SDJ (2014) Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Sci An Sci* 36(2):129-136
- Rosado TL, Gontijo I, Almeida MSD, Andrade FV (2014) The effect of sources and application doses of nitrogen on the chemical properties of an oxisol cultivated with guinea grass. *Rev Bras Ciênci Solo* 38(3):840-849. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300015>
- Rossi CQ, Pereira MG, Giacomo SG, Betta M, Polidoro JC (2011) Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. *Bragantia* 70(3):622-630. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300018>
- Sales A, Silva AR, Veloso CAC, Carvalho EJM, Miranda BM (2018) Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. *Colloqu Agrar* 14(1):1-15
- Sales KC, Cabral CE, Abreu JG, Barros LV, Silva FG, Cabral CH, Santos ARM, Silva CA Jr, Campos Filho JB (2020) What is the maximum nitrogen in marandu palisadegrass fertilization?. *Grassland Sci* 66(3):153-160. <http://dx.doi.org/10.1111/grs.12266>
- Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL (2011) Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesqui Agropecu Bras* 46:1349-1356. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>
- Samuel AL, Ebenezer AO (2014) Mineralization Rates of Soil Forms of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium as Affected by Organomineral Fertilizer in Sandy Loam. *Advances in Agriculture* 2014:5. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/149209>
- Santos MER, Da Fonseca DM, Gomes VM, Da Silva SP, Silva GP, Castro MRS AE (2012) Correlações entre características morfogênicas e estruturais em pastos de capim-braquiária. *Ciênc Anim Bras* 13(1):49-56. <http://dx.doi.org/10.5216/cab.v13i1.13041>

- Santos MV, Ferreira EA, Valadão D, Oliveira FLRD, Machado VD, Silveira RR, Souza MDF (2017) Brachiaria physiological parameters in agroforestry systems. *Ciênc Rural* 47:2-7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160150>
- Silva VJ, Pedreira CGS, Sollenberger LE, Silva LS, Yasuoka JI, Almeida ICL (2016) Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of ‘Mulato II’ Brachiariagrass. *Crop Sci* 56:2054–2061. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0764>
- Sollenberger LE, Newman YC, Vendramini JMB (2009) General guidelines for managing pastures for dairy cows. *EDIS* (5)
- Sousa DMG, Lobato E (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. Embrapa Cerrados, Planaltina
- Souza EDD, Costa SEVGDA, Anghinoni I, Carvalho PCDF, Oliveira EVFD, Martins AP, Andrighetti M (2010) Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Rev Bras Ciência Solo* 34(4):1365-1374. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400033>
- Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Carvalho PCF, Andriqueti M, Cao E (2009) 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* 33(6):1829-1836. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031>
- Sousa MS, Jardim AMRF, Araújo Jr GDN, Silva JRI, Leite MLDMV, Teixeira VI, da Silva TGF (2018) Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. *Pubvet* 12:172
- Stone LF, Didonet AD, Alcântara F, Ferreira EPDB (2015) Qualidade física de um Latossolo Vermelho ácrico sob sistemas silviagrícolas. *Rev Bras de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(10):953-960. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p953-960>
- Taiz L, Zeiger E (2002) Plant Physiology. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
- Tarazona Morales AM, Ceballos MC, Correa Londoño G, Cuartas Cardona CA, Naranjo Ramírez JF, Paranhos da Costa MJR (2017) Welfare of cattle kept in intensive silvopastoral systems: A case report. *Rev Bras Zootec* 46:478–488. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000600002>
- Teixeira VI, Dubeux Jr JCB, Mello ACL, Lira Jr MA, Saraiva FM, Santos MVF, Lira MA (2012) Herbage mass, herbage rejection, and chemical composition of signalgrass under different stocking rates and distances from dung pads. *Crop Sci* 52:422–430. <https://doi/10.2135/cropsci2011.02.0094>
- Udawatta RP, Gantzer CJ, Jose S (2017) Agroforestry Practices and Soil Ecosystem Services. *Soil Health Intensification Agroecosyt* 305–333. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805317-1.00014-2>
- Valle CB, Macedo MCM, Euclides VPB, Jank L, Resende LMS (2010) Gênero Brachiária. In: Fonseca DM, Martuscello JA (Ed.). *Plantas forrageiras*. Viçosa, 30-77
- Vranken E, Berckmans D (2017) Precision livestock farming for pigs. *Anim Front* 7:32–37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>

Wesp CL, Carvalho PCF, Conte O, Cadenazzi M, Anghiony I, Breem C (2016) Steers production in integrated croplivestock systems: pasture management under different sward heights. *Rev Ciênc Agron* 18:187–194. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160022>

Xu G, Fan X, Miller AJ (2012) Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Review Plant Biology* 63:153-182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>

Yasuoka JI, Pedreira CGS, Silva VJ, Alonso MP, Silva LS, Gomes FJ (2018) Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. *Grass Forage Sci* 73:183–192. <https://doi.org/10.1111/gfs.12302>

CAPITULO 2. INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E DO COMPONENTE FLORESTAL NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM E ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL

RESUMO: Poucas informações estão disponíveis sobre a produtividade das forrageiras e os atributos do solo em sistemas agrossilvipastoris tropicais, em especial, quando se utiliza altas doses de fertilizante nitrogenado. Objetivou-se avaliar a influência da adubação nitrogenada e do componente florestal na produção de forragem, nas frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em sistema agrossilvipastoril. O experimento foi conduzido em 2019, na Unidade de Referência Tecnológica - URT em 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 a produção de forragem e atributos do solo, a amostragem foi feita, por meio de transectos em diferentes distâncias da fileira de eucalipto. Foi coletada a forragem para avaliar a produção (forragem verde e seca), em seguida 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. A produção de forragem verde foi influenciada pela distancia da fileira dupla de eucalipto, com menor produção de 1733 kg MS ha⁻¹, 49% da massa total, mais próximo das árvores. 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 e 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 produção de forragem verde foi reduzida assim como a microporosidade do solo, e o inverso acontece com a macroporosidade do solo próximo da fileira dupla de árvores em sistema agrossilvipastoril. O uso da adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril modifica as frações físicas de carbono orgânico do solo, reduzindo seus teores em profundidade mesmo durante um período relativamente curto de implementação do sistema. 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: Nitrogênio, Matéria Orgânica, *Urochloa brizantha*.

CHAPTER 1. INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZATION AND FORESTRY ON FORAGE PRODUCTION AND SOIL ATTRIBUTES IN AGROSSILVIPASTORIL SYSTEM

ABSTRACT: Little information is available on forage productivity and soil attributes in tropical agroforestry systems, especially when using high doses of nitrogen fertilizer. The objective was to evaluate the influence of the forestry component on forage production, organic carbon fractions and physical attributes of the soil in an agrosilvopastoral system with nitrogen fertilization. The experiment 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 component (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 forage production and soil attributes, sampling was carried out through transects at different distances from the eucalyptus row. Forage was collected to evaluate production (green and dry forage), then 30x30x30 cm mini trenches were opened to collect undisturbed soil samples, at depths of: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm, to determination of physical attributes (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 mini-trenches. The production of green forage was influenced by the distance from the double row of eucalyptus, with a lower production of 1733 kg DM ha⁻¹, 49% of the total mass, closer to the trees. 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) contents 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 attributes, 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 at 1.49 g cm⁻³ for soil density at depths 0-10 and 20-30 cm. The production of green forage was reduced as well as the soil microporosity, and the opposite happens with the soil macroporosity close to the double row of trees in an agrosilvopastoral system. The use of nitrogen fertilization in agrosilvopastoral system modifies the physical fractions of organic carbon in the soil, reducing its levels 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 from the double rows of trees, however, it depends on the type of management used in the area.

Keywords: Nitrogen, Organic Matter, *Urochloa brizantha*

1. Introdução

No Brasil, o uso dos sistemas agrossilvipastoris tem aumentado na última década (Balbino et al. 2011), principalmente como uma opção para recuperar pastagens degradadas ou intensificar a produção pecuária (Salton et al. 2014). Nesses sistemas com lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, o potencial de produção das pastagens é afetado pelas interações entre seus componentes, as árvores são integradas às pastagens, com contribuições significativas para a sustentabilidade da pecuária em regiões tropicais (Broom et al. 2013). No entanto, o sombreamento reduz a radiação fotossinteticamente ativa para o pasto, muitas vezes diminuindo a fotossíntese do dossel (Nascimento et al. 2019) e acúmulo de forragem, enquanto aumenta potencialmente o valor nutritivo (Lima et al. 2019).

Embora exista uma série de pesquisas sobre a produtividade das forrageiras em sistema agrossilvipastoril, poucas informações estão disponíveis sobre o efeito do uso de fertilizantes nitrogenados nesse sistema (Paciullo et al. 2011), em especial, quando considera a adubação residual das pastagens como uma das principais características da sucessão de culturas com grãos. A fertilização com nitrogênio é um fator que pode modificar o crescimento da planta, promovendo maior produção de biomassa e assimilação de nutrientes (Lee et al. 2017), além de aumentar o armazenamento de C no solo.

Os sistemas integrados têm efeitos sinérgicos positivos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que ajudam a diminuir a degradação em comparação com estratégias únicas de uso da terra (Lemaire et al. 2014). Efeitos positivos são perceptíveis na melhoria da qualidade física do solo, uma vez que a inclusão de forrageiras na rotação de culturas aumenta rapidamente a estabilidade dos agregados do solo, a macroporosidade e a condutividade hidráulica, o que é importante principalmente em solos extremamente frágeis, como os solos arenosos (Borges et al. 2018).

Lorenz e Lal (2014) relatam que a inclusão de árvores em sistemas integrados de produção pode favorecer o armazenamento de C orgânico do solo, no entanto, as copas das árvores são conhecidas por impactar tanto a qualidade quanto a quantidade de luz recebida abaixo delas (Jose et al. 2017), alterando a produção e o valor nutritivo das espécies forrageiras (Ford et al. 2017). Além disso, quando o componente arbóreo é distribuído em fileiras e há animais pastejando no sistema lavoura-pecuária-floresta, alterações nas propriedades físicas e químicas do solo podem não ser uniformes devido à concentração de animais na área (Assis et al. 2015).

Os dados de literatura com avaliação da influência da adubação nitrogenada e do componente arbóreo sobre a pastagem e atributos do solo em sistema agrossilvipastoril são escassos. Com isso objetivou-se avaliar os efeitos do componente florestal e da adubação nitrogenada mineral na produção de forragem, nas frações de carbono orgânico e atributos físicos do solo em sistema agrossilvipastoril.

2. Material e Métodos

2.1 Histórico da área

A área com o sistema agrossilvipastoril foi implantada 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 Koppen (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).

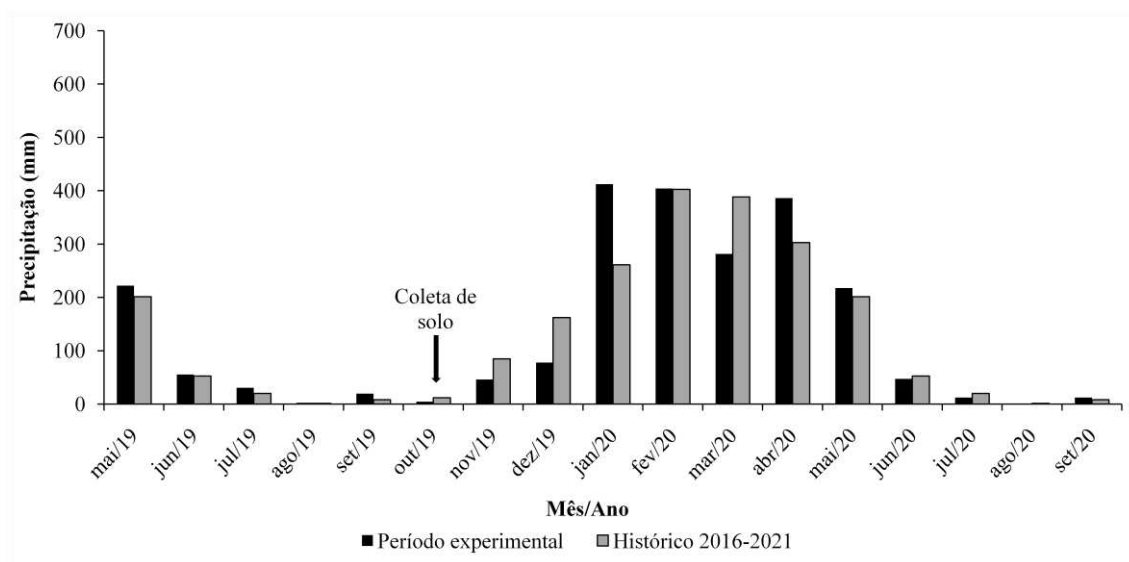


Figura 1 - Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2020) + precipitação média (2016 a 2021) do período de coleta de forragem e solos no município de Pindaré-Mirim, MA.

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, eucalipto e pasto. 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 $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ 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 o pasto 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 $\pm 250 \text{ kg}$ e taxa de lotação de $3 \text{ UA ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que permaneceram até abril de 2019. Nesse ano, não houve adubação com NPK no capim, assim como aplicação de calcário na área.

2.2 Início do experimento

O experimento foi iniciado em maio de 2019, em 3,0 ha, cuja área com pasto foi dividida com cerca elétrica, em doze piquetes de aproximadamente 2.250 m^2 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 $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, (III) aplicação de $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; (IV) aplicação de $400 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; e as subparcelas, as distâncias do componente florestal: 0; 3,5; 7,0; 10,5 e 14,0 m.

Antes da instalação do experimento, em maio de 2019, foi realizada coleta de solos na camada de 0-20 cm, que foi analisada quanto as características químicas e composição granulométrica seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2017), apresentando os seguintes resultados: $\text{MO} = 4,0 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{pH (CaCl)} = 4,8$; $\text{P} = 10,7 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K}^+ = 0,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Na}^+ = 0,94 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{+2} = 2,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 2,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{+3} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H}^+ = 2,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{CTC} = 7,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{V} = 73\%$ e textura franco arenosa (areia = 53,3%, silte = 31,3% e argila = 15,3%).

As adubações com ureia foram parceladas em quatro doses iguais durante o 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 $\pm 180 \text{ kg}$, 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 até o mês de setembro do mesmo ano.

2.3 Coleta e análise de forragem e solo

A coleta de forragem e 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.

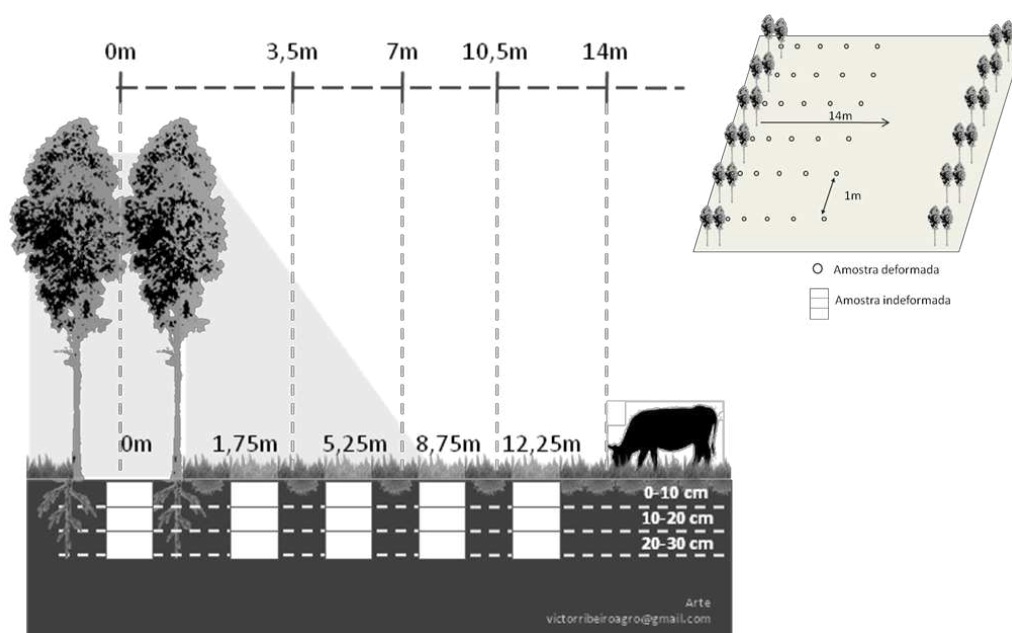


Figura 2 - Representação da amostragem de forragem e atributos do solo em relação as distâncias 0; 3,5; 7; 10,5 e 14 m da fileira dupla de eucalipto no transecto em um sistema agrossilvipastoril.

Para as avaliações de forragem, foi utilizado o método de dupla amostragem adaptada (Haydock e Shaw 1975) coletando-se a forragem em cada um das distâncias de amostragem no transecto (Figura 2). Mediu-se a altura das touceiras nesses pontos e procedeu-se com o corte das touceiras rente ao solo. Após a coleta, as amostras foram pesadas (peso fresco total) e em seguida, separadas em forragem verde (FV) e seca (FS), pesadas e levadas a estufa a 65°C até peso constante. As amostras retiradas da estufa foram pesadas novamente para obtenção do peso seco.

Em cada um dos pontos no transecto, após retirada da forragem, foram abertas minitrincheiras de 30 x 30 x 30 cm para coleta das amostras indeformadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, utilizando anéis volumétricos de aço inox com 100 cm³. Foram amostradas, em cada profundidade, uma parede da trincheira. Essas amostras

foram utilizadas para a determinação dos atributos físicos do solo, no Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Maranhão.

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 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 10 g 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 aleatório, os blocos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produtividade do capim Marandu

Os resultados de produção de massa de forragem nas frações verde e seca do capim marandu não diferiram ($P > 0,05$) nas doses de N avaliadas apresentando produção total entre 3761 e 4094 kg MS ha⁻¹ (Tabela 1). A baixa eficiência do uso da ureia pelas condições ambientais e forma de aplicação, a pouca precipitação, e possivelmente efeito do sombreamento sobre o pasto podem ter contribuído com esses resultados (Tabela 1).

Se considerar a forma da utilização da adubação nitrogenada, associados a adubação mineral ou associado a matéria orgânica, as perdas para o ambiente podem ser maiores, segundo Cereta (1997) o aumento da volatilização de amônia é favorecido pela presença de cobertura vegetal superficial, reduzindo o contato do fertilizante com o solo, e que associado ao modo de aplicação, em superfície, contribui para aumentar as perdas por lixiviação do adubo nitrogenado.

Tabela 1 - Massa de forragem verde e massa de forragem seca sob diferentes doses de N (kg ha⁻¹ ano⁻¹) em sistema agrossilvipastoril.

Doses de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	kg MS ha ⁻¹	
	Massa Verde	Massa Seca
0	2351 A	2118 A
100	2012 A	1749 A
200	2737 A	1974 A
400	2680 A	2224 A
EPM	364,1	278,8
Valor P	0,5293	0,6535

EPM: erro padrão da média. Letras iguais na coluna não diferem significativamente ($P > 0,05$).

Para a variável massa de forragem verde houve diferença ($P < 0,05$) entre as distâncias avaliadas no transecto a partir do componente arbóreo (Tabela 2) variando de 1733 a 3514,95 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ nas distâncias 3,5 m e 14 m, respectivamente, variando de 49% a 59% da massa de forragem total, já para fração seca da massa de forragem não ocorreu diferença entre as distâncias. O sombreamento diminui ao se afastar das árvores, consequente a fração verde sobressai e a seca é reduzida. Provavelmente a menor taxa de perfilhamento, diminui a taxa de senescência por folha para maximizar o aproveitamento de área foliar presente e diminuir o

investimento em produção de novos tecidos. Comportamento semelhante relatado por Paciullo et al.(2007).

Sob sombreamento moderado entre 35% e 45% (Paciullo et al. 2008) as gramíneas podem continuar a crescer em níveis satisfatórios, com aumento da biomassa aérea e radicular, área foliar específica, alongamento das folhas, porém com redução da taxa de perfilhamento, mas aumento do peso dos perfilhos, segundo Abraham et al. (2014). Condição esta que pode justificar a não diferença para a massa de forragem verde e seca (Tabela 1).

O sombreamento das árvores sobre a gramínea limita o crescimento da planta, mesmo com disponibilidade adequada de nutrientes, principalmente acima de 60% de sombreamento tendo em vista que para as árvores não influenciarem de forma negativa o desempenho da gramínea no sistema integrado, devem ser manejadas para manter o sombreamento entre 20 e 40% (Paciullo et al. 2014).

Tabela 2 - Massa de forragem verde e massa de forragem seca kg MS ha⁻¹, em diferentes distâncias do componente arbóreo no transecto em sistema agrossilvipastoril.

Distâncias (m)	kg MS ha ⁻¹	
	Massa Verde	Massa Seca
3,5	1733 B	1801 A
7	2472 AB	1882 A
10,5	2060 AB	1887 A
14	3514 A	2494 A
EPM	386,2	262,83
Valor P	0,0116	0,2457

EPM: erro padrão da média. Letras iguais na coluna não diferem significativamente (P>0,05).

A maior massa de forragem verde, 3514 kg MS ha⁻¹ distante 14m das árvores, situava-se em pleno sol, conseqüentemente recebendo maior incidência de luz em quantidade e qualidade o que favorece o processo fotossintético constante. As condições de luminosidade e temperatura adequadas ao processo fotossintético das plantas promove respostas produtivas positivas com a exposição do dossel das forrageiras a radiação direta de luz (Santos et al. 2017).

A menor produção de forragem próximo da fileira dupla das árvores, 1733 kg MS ha⁻¹, evidencia que o sombreamento influencia na produção da gramínea pela diminuição da luz. Por outro lado, pode ter relação com a competição por nutrientes e possível alelopatia do eucalipto com a forrageira. Segundo Rodrigues et al. (2014) a aproximação das linhas de árvores pode limitar o crescimento da forrageira em razão da menor intensidade luminosa, e menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa.

Observações *in loco* percebeu-se ao longo do dia a projeção de uma faixa de sombreamento sobre a gramínea de aproximadamente 8 m, da fileira dupla de plantio para o centro da parcela, reduzindo a luminosidade incidente no dossel forrageiro e sua produção mais próximo da fileira do eucalipto, possivelmente em função da distância entre as fileiras duplas e da altura das plantas, que neste estudo apresentaram altura média de 20,15 m.

3.2 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) apresentaram 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 obtido explica-se 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).

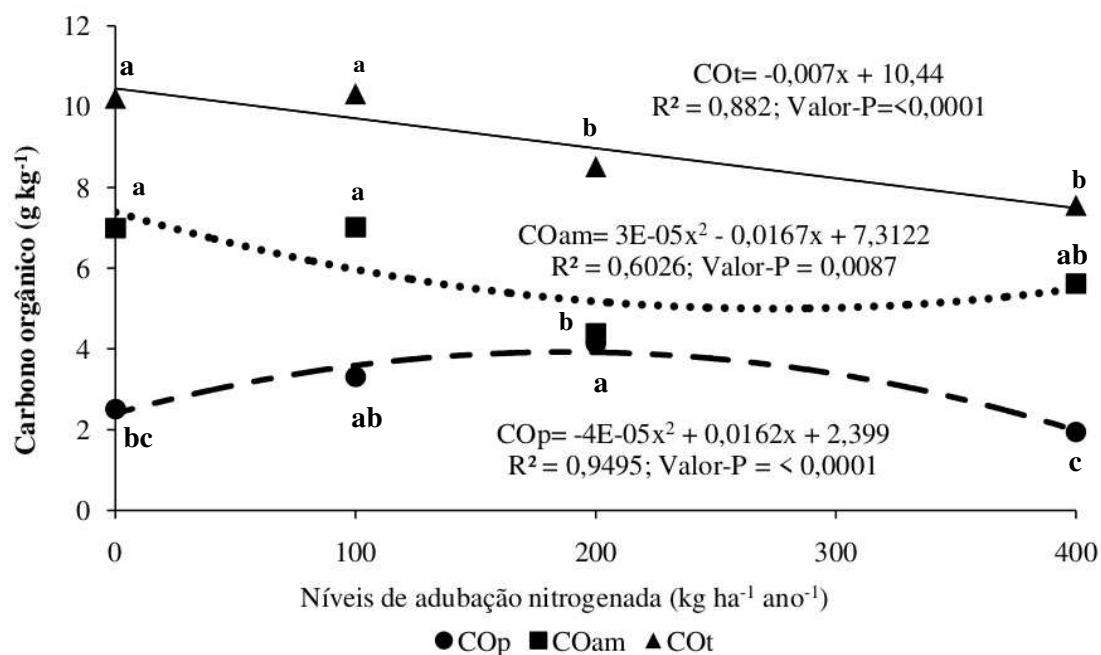


Figura 3 - Valores médios das frações de carbono orgânico do solo em função das doses de adubação nitrogenada (0, 100, 200, 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) avaliados em sistema agrossilvipastoril em Pindaré-Mirim, estado do Maranhão, Brasil.

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 COP ($r^2=0,9495$) e COam ($r^2=0,6026$). Os valores de COP variaram de 1,94 e 4,13 g kg⁻¹ com maior incremento de COP para dose estimada de 203 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. O COP 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 à deposição de material vegetal e sua consequente decomposição. Segundo Loss et al. (2011) o COP é formado por partículas derivadas de resíduos de plantas, cujo sistema de manejo que proporciona maior aporte de C e resíduos na superfície do solo aumentam os teores de COP. 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 pode ter 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 consequente 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 produção de biomassa da forrageira e consequente 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 3).

Tabela 3 - 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 g kg ⁻¹	COam	Pt	Mac m ³ m ⁻³	Mic	Ds 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 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 pode ser explicado pela maior concentração de raízes finas do eucalipto próximo da árvore assim como pela deposição de serrapilheira proveniente do eucalipto e capim Marandu que elevam os teores de matéria orgânica presente no solo propiciando melhor estruturação e formação dos macroagregados do solo.

Spera et al. (2009) observaram 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, próximo ao observado na pesquisa, com 4 anos.

Por outro lado, o aumento da quantidade de microporos pode ter relação com a maior capilaridade de raízes da gramínea forrageira, uma vez que apresentam sistema radicular volumoso, assim como pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica que proporcionam arranjo dos agregados do solo, evidenciando os benefícios dos sistemas agrossilvipastoris na estruturação do solo. O sistema radicular agressivo e volumoso das culturas forrageiras tem contribuído para melhorar as propriedades físicas do solo, principalmente quando o pasto não é degradado (Loss et al. 2011).

A profundidade influenciou as frações orgânicas de carbono e atributos físicos do solo, exceto a microporosidade (Tabela 4).

Tabela 4 - 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 aos minerais; Pt: porosidade total; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; Ds: densidade do solo.

Letras iguais 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 4).

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 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 (Tabela 4).

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, devido aos aportes de matéria orgânica ocorridos via cobertura vegetal.

O maior aporte de COt em sistema consorciado com *U. brizantha* Marandu se deve ao fato de culturas com sistema radicular abundante e agressivo, como as gramíneas forrageiras, alocarem maior fração do C fotossintetizado para as raízes do que culturas anuais (Nouvellon et al. 2012), o que as torna mais eficientes em aumentar os teores de COt no solo. Segundo Franzluebbbers e Stuedemann (2008) na ILP, as gramíneas possibilitam um incremento nos teores de carbono em função do alto desenvolvimento vegetal, tanto na parte aérea como nas raízes. Vale ressaltar que o gênero *Urochloa* spp. apresenta volumoso sistema radicular associado à capacidade de renovação das raízes de forma contínua e com elevado efeito de sua rizosfera (D'Andréa et al. 2004), o que contribui para o incremento de COt em sistemas de consórcio.

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. Esse resultado, pode ter relação com o sistema radicular abundante das gramíneas forrageiras uma vez que estão em constante

renovação e sua decomposição permite formação do COam. O sistema radicular das gramíneas forrageiras pode ter liberado mais material orgânico, por rizodeposição, nesta camada, com consequente formação de COam (Carmo et al. 2012).

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 4), apresentando valor inferior em relação as demais profundidades 10-20 cm e 20-30 cm, sendo crescente nessas profundidades. O aumento da porosidade total 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. Segundo Borges et al. (2018) a ação das raízes finas do eucalipto na estrutura do solo em profundidade (0,20-0,40 m) é demonstrada pelo aumento da porosidade do solo, principalmente na microporosidade, muito importante em solos com textura de areia com sérias limitações na retenção de água.

Assim como a porosidade total, 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 coma 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 Densidade apresentou menor valor com $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ na camada mais superficial do solo, 0-10 cm, sendo crescente com o aumento da profundidade (Tabela 4). 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 4).

Em profundidade observou-se aumento da densidade, ocasionado pela tendência natural do adensamento provocado pelo peso das camadas sobrejacentes 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.

4. Conclusões

A produção de forragem verde foi reduzida assim como a microporosidade do solo, e o inverso acontece com a macroporosidade do solo próximo da fileira dupla de árvores em sistema agrossilvipastoril.

O uso da adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril modifica as frações físicas de carbono orgânico do solo, reduzindo seus teores em profundidade mesmo durante um período relativamente curto de implementação do sistema.

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.

Referências

- Abraham EM, Kyriazopoulos AP, Parissi ZM, Karatassiou M, Anjalianidou K, Katsouta C (2014) Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. *Agrofor Syst* 88(2):287-299. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9682-9>
- Assis PCR, Stone L, Medeiros JC, Madari BE, Oliveira JM, Wruck FJ (2015) Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Rev Bras Eng Agríc Ambiental* 19:309–316. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.
- Balbino LC, Barcellos ADO, Stone LF (2011) Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa Cerrados, Brasília
- Borges WLB, Calonego JC, Rosolem CA (2018) Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agrofor Syst* 93(6):2111-2119. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>.
- Bortolini D, Albuquerque JA, Rech C, Mafra ÁL, Ribeiro Filho HMN, Pértile P (2016) Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Rev Ciênc Agrovet* 15(1):60-67. <https://doi.org/10.5965/223811711512016060>
- Broom DM, Galindo FA, Murgueitio E (2013) Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proc Biol Sci* 280:2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2025>
- Cambardella CA, Elliott ET (1992) Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56(3):777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Carmo FF, Figueiredo CC, Ramos MLG, Vivaldi LJ, Araújo LG (2012) Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Biosci J* 28(3):420-431.
- Ceretta CA (1997) Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema de plantio direto. In: Fries MR, Dalmolin RSD. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Pallotti 112-124
- Chan KY, Bowman A, Oates A (2001) Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Sci New Brunswick* 166:61-67
- Cobucci T, Wruck FJ, Kluthcouski J, (2007) Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. *Informe Agropecuário* 28(240):25-42
- Costa AM, Souza MAS, Silva Jr AM, Falqueto RJ, Borges EN (2003) Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos da cerrado. In: II Simpósio Regional de Geografia. Anais... Uberlândia
- Costa NR, Andreotti M, Ulian NA, Costa BS, Pariz CM, Teixeira Filho MCM (2015) Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Biosci J* 31:818-829. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22434>

D'Andréa AF, Silva MLN, Curi N, Guilherme LRG (2004) Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesqui Agropecu Bras* 39:179-186. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>

D'Andréa AF, Silva MLN, Silva CB (2006) 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 199-242

EMBRAPA (2017) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises de métodos de solo, Brasília

Ensinas SC, Serra AP, Marchetti ME, Silva EF, Prado EAF, Lourente ERP, Altomar PH, Potrich DC, Martinez MA, Conrad VA, Jesus MV, Kadri TC El (2016) Cover crops affect on soil organic matter fractions under no till system. *Austral J Crop Sci* 10:503-512. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7247x>

Ford MM, Zamora DS, Current D, Magner J, Wyatt G, Walter WD, Vaughan S (2017) Impact of managed woodland grazing on forage quantity, quality and livestock performance: the potential for silvopasture in Central Minnesota, USA. *Agrofor Syst* 93:67-79. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0098-1>

Franzluebbers AJ, Stuedemann JA (2008) Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. *Soil Sci Soc Am J* 72(5):613-625. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0121>

Garcia US (2015) 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

Gazolla PR, Guaresche RF, Perin A, Pereira MG, Rossi CQ (2015) Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciên Agr* 36(2):693-704. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>

Hartman DC, Sá JCM, Briedis C, Santos JZ, Schimiguel R (2014) Evidências de saturação de carbono em solos sob plantio direto em agro-ecossistemas subtropical e tropical no Brasil. *Synerg Scyent* 9:1-6

Haydock KP, Shaw NH (1975) The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Austral J Experimental Agricult Ani Husband* 15:663-670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663>

INMET (2020) Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos 2016-2021. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82376&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/2010&mRelDtFim=31/12/2019&mAtributos=,,,,,,,1,,,,1,,, Acessado em 23 março de 2021.

Jose S, Walter D, Kumar BM (2017) Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agrofor Syst* 93:317–331. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>

Koeppen W (1948) *Climatologia Mexico: Fundo de Cultura Economica*

Lee MS, Wycislo A, Guo J, Lee DK, Voigt T (2017) Nitrogen fertilization effects on biomass production and yield components of *Miscanthus x giganteus*. *Front Plant Sci* 8:544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00544>

Lemaire G, Franzluebbers A, Carvalho PCF, Dedieu B (2014) Integrated crop–livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agric Ecosyst Environ* 190:4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

Lima MA, Paciullo DSC, Morenz MJF, Gomide CAM, Rodrigues RAR, Chizzotti FHM (2019) Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass Forage Sci* 74:160–170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>

Lorenz K, Lal R (2014) Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agron Sustain Dev* 34:443–454. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, Anjos LHC (2011) Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. *Pesqui Agropecu Bras* 46(10):1269–1276. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>

Martins LFS, Poggiani F, Oliveira FR, Guedes MC, Gonçalves JLM (2004) Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta á aplicação de doses crescentes de biofósforo. *Sci Florest* 65:207–218

Miranda LN, Miranda JCC, Rein TA, Gomes AC (2005) Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. *Pesqui Agropecu Bras* 40(6):563–572. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600006>

Mott GO, Lucas HL (1952) The desing, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the sixth International Grassland Congress, Pennsylvania*. Anais...Pennsylvania State College 6:1380–1385

Nascimento HLB, Pedreira BC, Sollenberger LE, Pereira DH, Magalhães CAS, Chizzotti FHM (2019) Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. *Crop Pasture Sci* 70:384–394. <https://doi.org/10.1071/CP18403>

Nouvellon Y, Laclau JP, Epron D, Le Maire G, Bonnefond JM, Gonçalves JLM, Bouillet JP (2012) Production and carbon allocation in monocultures and mixedspecies plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil. *Tree Phys* 32:680–695. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps041>

Paciullo DSC, Campos NR, Gomide CAM, Castro CRT, Tavela RC, Rossiello ROP (2008) Crescimento do pasto de capim-braquiária influenciado pelo nível de sombreamento e pela a

estação do ano. *Pesqui Agropecu Bras* 43(7):317-323. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700017>

Lopes FCF, Rossiello ROP (2007) Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesqui Agropecu Bras* 42(1):573-579. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>

Paciullo DSC, Castro CRT, Gomide CAM, Mauricio RM, Pires MFA, Muller MD, Xavier DF (2011) Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Sci* 141: 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>

Paciullo DSC, Gomide CAM, Muller MD, Pires MFA, Castro CRT (2014) Potencial de produção e utilização de forragem em sistemas silvipastoris. In: Simpósio de Pecuária Integrada, Campo Grande. *Anais...Campo Grande, Embrapa* 1:51-77

Pezzopane JRM, Bernardi ACC, Bosi C, Oliveira PPA, Marconato MH, Pedroso AF, Esteves SN (2019) Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. *Agrofor Syst*. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0149-7>

Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ (2007) 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 Ciênciado Solo* 49-134

Reichardt K (1987) *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo, Manole

Reinert DJ, Reichert JM (2006) *Propriedades físicas do solo*. Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria

Rocha AE, Catunda PHA, Dias LJBS (2020) Relatório Técnico de Classificação da Vegetação do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Amazônico, São Luís

Rodrigues COD, Araújo SAC, Viana MCM, Rocha NS, Braz TGS, Villela SDJ (2014) Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Sci Ani Sci* 36(2):129-136.

Seneviratne G (2000) Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol Fertility Soils* 31(1):60-64. <https://doi.org/10.1007/s003740050624>

Salton JC, Mercante FM, Tomazi M, Zanatta JA, Concenço G, Silva WM, Retore M (2014) Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. *Agricul Ecosyst Environ* 152:70-79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>

Santos MV, Ferreira EA, Valadão D, Oliveira FLRD, Machado VD, Silveira RR, Souza MDF (2017) *Brachiaria* physiological parameters in agroforestry systems. *Ciênc Rural* 47(5):1-6. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160150>

Smith JL (1994) Cycling of nitrogen through microbial activity. In: Hatfield JL, Stewart BA (Ed.) *Soil biology: effects on soil quality*. Boca Raton: CRCPress 91-120

Sollenberger LE, Moore JE, Allen VG, Pedreira CGS (2005) Reporting forage allowance in grazing experiments. Crop Sci 45(3):896-900. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0216>

Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Carvalho PCF, Andrigueti M, Cao E (2009) 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 33:1829-1836. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031>

Spera ST, Santos HP, Fontaneli RS, Tomm GO (2009) Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. Rev Bras Ciênciado Solo 33(1):129-136. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100014>

Spera ST, Santos HP, Fontaneli RS, Toom GO (2010) Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavourapecuária (ILP), sob plantio direto. Rev Acta Sci Agron 32(1):37-44

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG (2017) Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa, Brasília

Yeomans JC, Bremner JM (1988) A rapidand precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in soil science and plant analysis 19(13): 1467-1476.<https://doi.org/10.1080/001036288093680>.

CAPITULO 3. DECOMPOSIÇÃO DE SERRAPILHEIRA E EXCRETA EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO: A decomposição e retorno de nutrientes da serrapilheira e excreta em sistemas agrossilvipastoris, é influenciada pela sincronia entre os componentes e ao manejo como o uso de adubação nitrogenada que facilita e/ou acelera este processo. Objetivou-se avaliar a decomposição e a composição química do capim Marandu e da excreta bovina em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada. O experimento foi conduzido em 2019 e 2020, na Unidade de Referência Tecnológica - URT em ILPF da EMBRAPA Cacaís em Pindaré Mirim – MA/ Brasil. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro tratamentos de adubação nitrogenada (0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ano⁻¹) e três repetições em uma área total de 3 ha divididos em doze parcelas iguais. Para avaliação da decomposição utilizou-se diferentes tempos de incubação para serrapilheira do capim marandu (0, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 dias) e excreta bovina (0, 2, 4, 8, 16, 64 e 128 dias). O método de pastejo foi 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 a composição química, foram determinados Matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), cinzas, N, C, fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) na serrapilheira e excreta. Foram desenvolvidos modelos exponenciais negativos simples para estimar a constante de desaparecimento inicial (B_0) e taxa de decomposição (k). Para o ano de 2019, não foram observadas diferenças entre as variáveis ($P > 0,05$) na decomposição e composição química da serrapilheira, contudo comparando-se a decomposição entre os anos, 2019 e 2020, houve efeito triplo ($P < 0,0001$) entre os níveis de adubação x tempo x ano. Comparando-se os dois anos de avaliação, a velocidade média de decomposição foi menor no segundo ano, com $k = 0,00589925 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ contra $k = 0,00798675 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ no primeiro ano. A mineralização média de N na serrapilheira foi 74% e nas fezes 17% que proporcionaram um aporte anual de 146 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ e 5 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Não foram observadas diferenças na decomposição e composição química da excreta ($P > 0,05$) entre as doses e o tempo de incubação para as variáveis analisadas. Ambos os materiais, serrapilheira e excreta apresentaram alta relação C:N, acima de 30:1, revelando a maior dificuldade de degradação do material, mesmo sob diferentes quantidades de N adicionado. Os níveis de nitrogênio aplicados não influenciaram a decomposição da serrapilheira e excretas. A contribuição dos nutrientes via decomposição da serrapilheira foi mais rápida que no componente excreta, devido a maior concentração de nutrientes e taxa de decomposição. O tempo de incubação de 128 dias não foi suficiente para expressar o comportamento real da decomposição na serrapilheira. Assim se torna necessário cada vez mais experimentos a longo prazo que avaliem a decomposição de nutrientes em pastagens tropicais fertilizadas com N.

Palavras-chave: Ciclagem, Fezes, Folhas, Nutrientes

CHAPTER 3. DECOMPOSITION OF LITTER AND EXCRETA IN AGROSSILVIPASTORIL SYSTEM WITH NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT: Litter decomposition and nutrient return and excreta in agroforestry systems is influenced by the synchrony between components and management such as the use of nitrogen fertilization that facilitates and/or accelerates this process. The objective of this study was to evaluate the decomposition and chemical composition of Marandu grass and bovine excreta in an agroforestry system with nitrogen fertilization. The experiment was conducted in 2019 and 2020, at the Technological Reference Unit - TRU in ICLF of EMBRAPA Cocais in Pindaré Mirim - MA / Brazil. A randomized block design was used, with four nitrogen fertilization treatments (0, 100, 200 and 400 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) and three replications in a total area of 3 ha divided into twelve equal plots. To evaluate the decomposition, different incubation times were used for litter from marandu grass (0, 4, 8, 16, 32, 64, 128 and 256 days) and bovine excreta (0, 2, 4, 8, 16, 64 and 128 days). The grazing method was continuous stocking with two “tersters” and variable stocking rate with “adjustment” animals, ringed steers with an average body weight of 180 kg. To assess the chemical composition, dry matter (DM), organic matter (MO), ash, N, C, acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) were determined in litter and excreta. Simple negative exponential models were developed to estimate the initial disappearance constant (B_0) and decomposition rate (k). For the year 2019, no differences were observed between the variables ($P > 0.05$) in litter decomposition and chemical composition, however comparing the decomposition between the years 2019 and 2020, there was a triple effect ($P < 0.0001$) between fertilization levels x time x year. Comparing the two years of evaluation, the mean speed of decomposition was lower in the second year, with $k = 0.00589925 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ against $k = 0.00798675 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ in the first year. The average N mineralization in litter was 74% and 17% in feces, which provided an annual input of 146 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ and 5 kg N ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. There were no differences in decomposition and chemical composition of excreta ($P > 0.05$) between doses and incubation time for the analyzed variables. Both litter and excreta materials showed a high C: N ratio, above 30: 1, revealing the greatest difficulty in degrading the material, even under different amounts of added N. The nitrogen levels applied did not influence litter and excreta decomposition. The contribution of nutrients via litter decomposition was faster than in the excreta component, due to higher nutrient concentration and decomposition rate. The incubation time of 128 days was not enough to express the real behavior of the litter decomposition. Thus, there is an increasing need for long-term experiments to assess nutrient decomposition in N-fertilized tropical pastures.

Keywords: Cycling, Feces, Leaves, Nutrients

1. Introdução

Os sistemas agrossilvipastoris vão além das vantagens de diversificar a renda do produtor e reduzir custos de insumos. Também são caracterizados por promover serviços ambientais, como o retorno de nutrientes para o sistema, por meio do processo de ciclagem de nutrientes provenientes do componente arbóreo e/ou agrícola bem como dos animais. A disponibilidade limitada de nitrogênio (N) em pastagens de clima quente é um dos principais fatores limitantes ao aumento da produtividade (Vendramini et al. 2014), e a adição de N via serrapilheira e excreta animal representam um insumo significativo e pode resultar em maior produtividade primária do ecossistema.

Na maioria dos ecossistemas de pastagens brasileiro, onde a adição de fertilizantes é relativamente pequena, a serrapilheira e a excreção animal são as fontes mais importantes de nutrientes retornados ao solo (Boddey et al. 2004). Nessa linha de benefícios, encontra-se a deposição de serrapilheira que promove a existência de ampla variedade de nichos para a mesofauna e micro-organismos do solo, além de exercer função de isolante térmico, retentor de água, atenuador de efeitos erosivos e influenciador no estabelecimento de plântulas (Boldt et al. 2010).

A melhor compreensão da quantidade de nutrientes acumulados nas plantas é importante para determinar os benefícios da ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo (Oliveira et al. 2019). A constante deposição de material principalmente do componente arbóreo, associado ao extenso sistema radicular, influenciam a ciclagem de nutrientes, uma vez que exploram camadas de solo mais profundas, fazendo com que os nutrientes das camadas mais inferiores do solo sejam extraídos para a parte aérea das plantas (Assmann et al. 2014). Além disso, a presença do componente arbóreo pode afetar a velocidade de decomposição do resíduo pelo fato de proporcionar alterações microclimáticas no ambiente (Karam et al. 2013).

A disponibilização de nutrientes para as plantas nesses sistemas de produção está diretamente ligada à sua disponibilidade no solo e à velocidade de liberação dos seus resíduos (vegetais e animais) que se encontram sobre o solo (Ferreira et al. 2011). Hirata et al. (2011) relacionaram o retorno de nutrientes ao solo pela excreção com o tempo de decomposição, período de permanência dos animais na área e frequência de excreção.

Bovinos em pastejo depositam esterco e urina a taxas médias equivalentes de 1040 e 1000 kg N ha⁻¹ com estimativa que entre 85 e 95% do total de nitrogênio ingerido por bovinos, retorne ao solo através das excretas, cujas taxas excedem as demandas das plantas e

podem levar a perdas significativas de N (Haynes e Williams 1993). Essa grande parte de N pode ser perdido no processo de ciclagem por meio da volatilização da ureia na forma de amônia em poucos dias.

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos variam em função de diversos fatores: quantidade e qualidade do resíduo orgânico, clima, pH, disponibilidade de nutrientes, textura e estrutura do solo, fauna do solo e biomassa microbiana (Moura et al. 2010). A mineralização, outra forma de liberação de nutrientes, favorece processos benéficos no ecossistema da pastagem, incluindo a retenção de umidade do solo, melhor estrutura do solo, adesão de nutrientes ao solo e população microbiana do solo (Vendramini et al. 2014).

Segundo Song, Fan e Song (2010), tanto o C quanto o N são indicadores de qualidade da serrapilheira, cuja relação C:N é tida como um índice geral dessa qualidade do material (Seneviratne 2000), uma vez que sua relação é associada à taxa de decomposição deste material, considerando que as taxas de mineralização diminuem conforme há aumento da relação C:N. Essa taxa de liberação depende da quantidade depositada e da qualidade da serrapilheira (Freire et al. 2010) e das condições ambientais, principalmente umidade e temperatura, favoráveis para a comunidade de microrganismos presentes no solo (Dubeux Jr; Sollenberger 2020). O mesmo equivale para a taxa de decomposição das placas de fezes, que além disso, inclui os fatores manejo, espécie animal e a dieta a que estão submetidos sendo bastante variável e difícil de ser calculado com precisão (Haynes e William 1993). Por exemplo, Brady e Weill (2002) citam que os valores de degradação ou desaparecimento podem variar de acordo com as condições ambientais, apresentando variações de 30 dias até 17 meses.

Os efeitos da adubação nitrogenada na decomposição da biomassa das plantas forrageiras e excreta animal e a sua relação com o retorno de nutrientes dentro dos sistemas agrossilvipastoris, necessitam cada vez mais ser aprimorados em conhecimentos e técnicas que viabilizem o uso eficiente do nitrogênio, em sistemas integrados em particular no trópico úmido maranhense. Diante disso, objetivou-se avaliar a decomposição e a composição química do capim Marandu e da excreta bovina em sistema agrossilvispastoril com adubação nitrogenada.

2. Material e Métodos

O experimento de decomposição foi realizado na mesma Unidade de Referência Tecnológica - URT em ILPF da EMBRAPA Cacaos em Pindaré Mirim – MA, o histórico e detalhes da área experimental estão descritos no Capítulo 2.

O experimento foi iniciado em 2019 em uma área de 3,0 ha dividida com cerca elétrica, em doze piquetes de aproximadamente 2.250 m². O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro tratamentos e três repetições. Foram utilizados quatro níveis de adubação nitrogenada (0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹). Utilizou-se ureia como fonte nitrogenada parceladas em quatro doses iguais durante o período chuvoso, nos meses de maio, julho, agosto e setembro de 2019 e abril, maio, junho e julho de 2020, distribuído manualmente a lanço.

Foram construídas áreas de exclusão dentro de cada parcela, com 3 m², próximo a entrada dos piquetes sem acesso dos animais, onde o experimento com serrapilheira e fezes foram incubados. Para ambos, utilizou-se o método de sacos de náilon, ou “litterbags”, desenvolvido por Bocock e Gilbert (1957), Bruce e Ebersohn (1982) adaptada por Dubeux Jr et al. (2006a). As amostras incubadas não foram moídas, objetivando preservar a superfície de contato o mais próximo possível do material original.

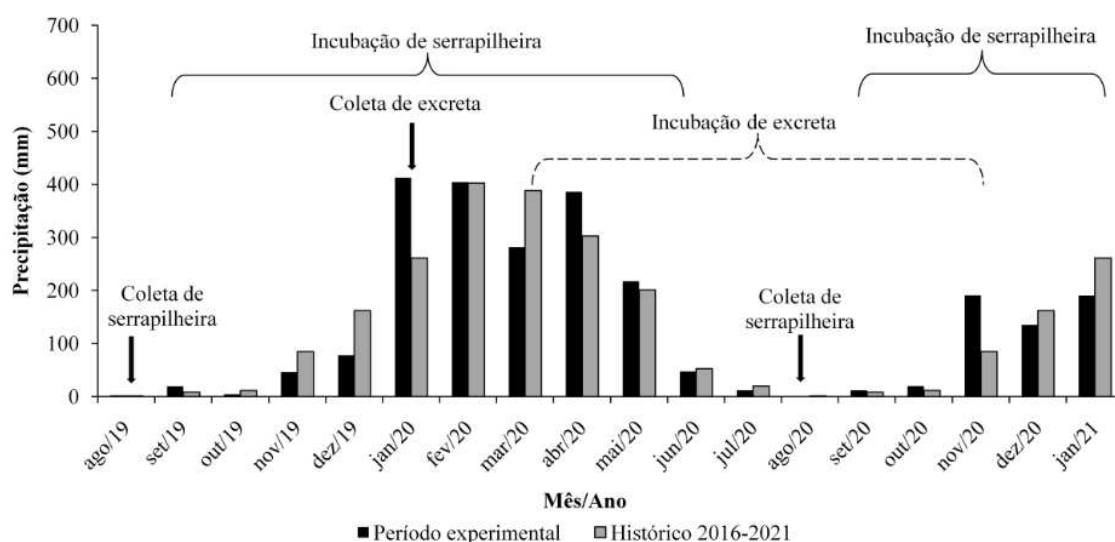


Figura 1 - Precipitação mensal (mm) do período experimental (2019 a 2021) + precipitação média (2016 a 2021) e do período de coleta e incubação de serrapilheira e excreta, no município de Pindaré-Mirim, MA.

2.1 Decomposição de serrapilheira

As coletas de serrapilheira foram realizadas em agosto de 2019 e repetidas no mesmo mês em 2020 e a incubação ocorreu de setembro de 2019 a junho de 2020 e o segundo ano de setembro 2020 a junho de 2021 (Figura 1). Para isso, coletou-se amostras de folhas senescente

da gramínea *Urochloa brizantha* cv. Marandu ainda ligado à planta, em cada parcela experimental.

O material foi seco em estufa de ventilação forçada a 65°C, por 72 horas, e pesado uma fração de 11,25g (25 mg MS material cm⁻² de saco) e colocados em sacos de náilon com dimensões de 15 x 30 cm (porosidade de 75 µm) previamente numerados, secos em estufa de ventilação forçada, a 65°C por 72 horas, e pesados (Dubeux Jr et al. 2006). A composição química inicial da serrapilheira está descrita na Tabela 1. Dois sacos de cada material foram retirados com 0, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 dias após incubação. Sacos vazios também foram incubados em todos os períodos objetivando corrigir o peso do saco após o período de incubação. Na área de exclusão a altura do pasto foi mantida similar à altura média do pasto, cortando-se a forragem e depositando-a sobre o solo, de forma que representasse ao máximo as condições do meio.

Tabela 1 -Composição química da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, antes da incubação em 2019, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril.

Variável (g kg ⁻¹)	Tratamentos			
	0	100	200	400
Matéria seca	977,67	976,67	976,00	972,33
Carbono	362,50	349,00	357,00	342,00
Nitrogênio	6,78	11,80	10,04	8,45
Relação C:N	54:1	30:1	36:1	41:1
FDN	568,80	532,80	720,60	611,20
FDA	298,90	285,02	279,48	295,90

2.2 Decomposição de fezes

A coleta de excreta foi realizada em janeiro de 2020 e a incubação de março a novembro de 2020 (Figura 1). Para a incubação da excreta, coletou-se fezes ainda frescas nas parcelas, com o cuidado para não serem apanhadas com porção de solo, evitando contaminação.

O material foi acondicionado desidratado e acondicionado em sacos com características mencionadas para serrapilheira. Dois sacos de cada material foram retirados

com 0, 2, 4, 8, 16, 64 e 128 dias após incubação. No final de cada tempo de incubação, os sacos tanto de serrapilheira quanto de fezes, foram limpos com pincel e secos em estufa, a 65 °C, por 72 horas.

Amostras compostas de folhas e excreta de cada tratamento e tempo de cada parcela experimental foram moídas (1 mm) em moinho tipo Willey e analisados quanto aos teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), cinzas e N, de acordo com metodologia descrita por Detman et al. (2012); teor de C, seguindo a metodologia de Bezerra Neto e Barreto (2011), fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) foram analisados pelo método de Van Soest et al. (1991), em autoclave, conforme relatado por Pell e Schofiel (1993). A composição química inicial da excreta está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química da excreta bovina em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, antes da incubação em 2020, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril.

Variável (g kg ⁻¹)	Tratamentos			
	0	100	200	400
Matéria seca	991,60	981,80	995,30	848,50
Carbono	311,77	325,55	340,00	411,43
Nitrogênio	9,07	7,89	8,28	13,17
Relação C:N	34:1	42:1	43:1	32:1
FDN	328,30	273,80	333,20	374,05
FDA	176,60	198,38	303,20	293,90

Os resultados foram expressos com base na matéria seca (MS). A biomassa remanescente e liberação de nutrientes nos distintos períodos de incubação foram estimadas com base na massa residual após a incubação e respectivas concentrações de nutrientes. Para os dois experimentos, a proporção de biomassa remanescente de cada nutriente antes e depois da incubação foi determinada pela seguinte fórmula: Remanescente = (final/inicial) x 100.

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram ajustados em equações utilizando o modelo exponencial negativo simples (Wider e Lang 1982) que estimaram a MS, MO, N e C remanescentes e teor de FDN

e FDA em relação aos tempos avaliados em cada metodologia. O modelo exponencial negativo simples é descrito pela equação:

$$X = B_0 \times e^{-kt},$$

Em que: X = corresponde à proporção do material remanescente; B_0 = constante de desaparecimento inicial da MS, MO, N e C, relação C:N e teor de FDN e FDA; t = tempo em dias; e k = taxa relativa de decomposição da MS, MO, N, C, relação C:N e teor de FDN e FDA.

Esses modelos foram aplicados para cada tratamento em cada bloco sendo encontrados os parâmetros B_0 e k (exponencial simples) por meio do ProcNlin do SAS (SAS University Edition). Posteriormente, esses parâmetros foram analisados por meio do Proc Mixed do SAS, com teste de Tukey quando o teste F foi significativo ($P < 0,05$), considerando como fator fixo níveis de adubação, e como fatores aleatórios o bloco e o efeito bloco (tratamento). Em seguida, foi verificado se havia diferença significativa entre os tratamentos e tempo de incubação, e ano de avaliação (para serrapilheira) analisando o resultado da interação, sendo que efeitos isolados não permitem discriminar a possibilidade de adoção de um método em substituição do outro (Wider e Lang 1982).

3. Resultados e Discussão

3.1 Decomposição e composição química de serrapilheira

O modelo exponencial negativo simples foi usado para explicar a curva de decomposição da biomassa remanescente, C, N, C:N e teores de FDN e FDA ao longo do tempo para serrapilheira do capim marandu nos diferentes tratamentos.

Houve efeito triplo ($P < 0,0001$) na biomassa remanescente entre os níveis de adubação x tempo x ano (Figura 2AB), provavelmente em função do período de incubação e da diferença da baixa precipitação (Figura 1) nos períodos iniciais da incubação. No segundo ano de avaliação da decomposição da serrapilheira (Figura 2B) a velocidade média de decomposição foi menor, com $k = 0,00589925 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ em relação ao primeiro ano com $k = 0,00798675 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ em 2019.

A taxa de decomposição em 2020 foi ($k = 0,003747 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$; $k = 0,004683 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$; $k = 0,006247 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ e $k = 0,008920 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$) nas doses 0, 100, 200, de 400 kg de N ha^{-1} ano $^{-1}$ respectivamente. Já em 2019 não diferiram nos diferentes níveis de N. Aos 128 dias em

2020 restaram 31% do material incubado, na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ significando que 69% do material foi mineralizado para o solo.

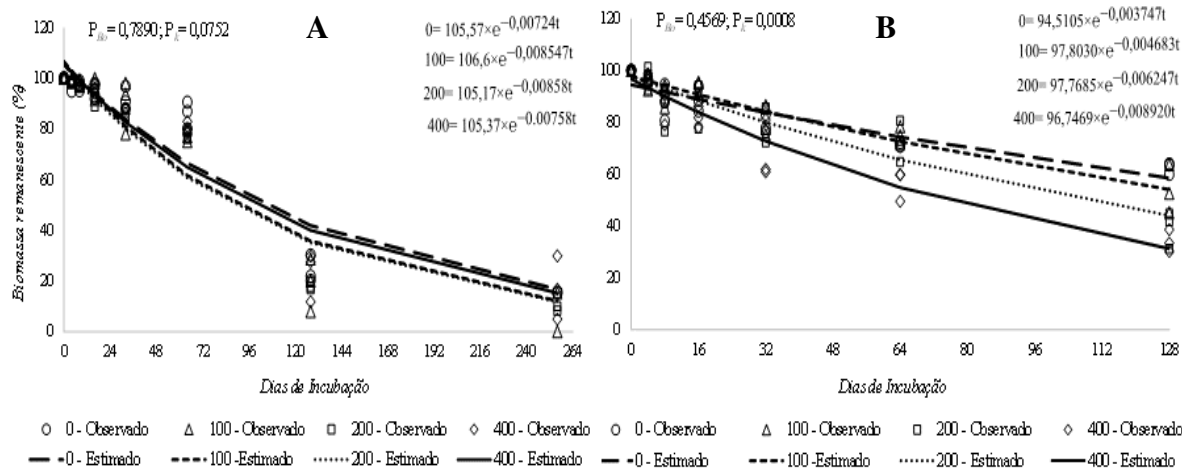


Figura 2 - Biomassa remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril 2A (2019) e B (2020).

Pode-se explicar essa mudança da decomposição entre os anos avaliados, com base na variação sazonal na temperatura e umidade entre os anos (Figura 1) que pode afetar diferentemente os estágios (dias de incubação) no processo de decomposição. Assim, as mudanças nas taxas de decomposição ligadas ao clima sazonal podem interagir com os efeitos da variação na queda da serrapilheira, no suprimento e na qualidade da serrapilheira e na fase de decomposição do substrato (Paudel et al. 2015).

A ausência de efeito direto da adubação nitrogenada na decomposição da serrapilheira relaciona-se com outros fatores como a quantidade depositada e qualidade da serrapilheira (Freire et al. 2010) pela alta relação C:N e concentrações de lignina (Vendramini et al. 2007). Além disso, pelas condições ambientais, principalmente umidade e temperatura favoráveis para a comunidade de microrganismos presentes no solo (Dubeux Jr; Sollenberger 2020). A soma desses fatores interferem diretamente no processo de decomposição podendo retardá-lo ou acelerá-lo.

Para o processo de recuperação e proteção dos solos de áreas degradadas e solos arenosos, recomenda-se uso de espécies com velocidade de decomposição mais lenta, para servir de barreira protetora. Além de mitigar gases que provocam o efeito estufa (Barcellos et al. 2008) são os tipos de matérias que trazem muitos benefícios duradouros para a

sustentabilidade dos sistemas integrados, embora a redução da velocidade de liberação do nutriente interfira na eficiência de uso do nutriente nas pastagens.

Lin et al. (2012) ressaltam que a menor taxa de decomposição proporciona uma liberação mais lentamente de CO₂, diminuindo o efeito estufa e são as que mais beneficiam a sustentabilidade dos sistemas produtivos a médio e longo prazo. Por outro lado, reduz a velocidade de ciclagem de nutrientes e consequentemente a eficiência de uso do nutriente nas pastagens (Apolinário et al. 2013).

Contudo, vale destacar que ocorreram duas fases no processo de decomposição para a serrapilheira do capim marandu em 2020 (Figura 2B). A primeira fase, correspondeu ao período entre 0 e 16 dias cujo comportamento entre as distintas doses foi similar, significa que a alta concentração de N inicialmente ficou imobilizado na biomassa microbiana, sem causar alterações no material incubado. A segunda fase, correspondeu ao período de incubação de 32 a 128 dias, que há maior queda (Figura 2B) que reflete a liberação mais rápida de constituintes facilmente degradáveis e ao uso mais rápido do N como substrato para os microrganismos do solo.

Possivelmente essas duas fases distintas devem-se a presença de comunidades microbianas específicas para duas fases de decomposição, tendo em vista variação da composição química e as propriedades físicas da serrapilheira ao longo do processo de decomposição (Berg e McLaugherty 2014).

Para o C remanescente, não foram observadas diferenças nos parâmetros estimados (Valor-P, $B_0 = 0,7331$; $k = 0,2916$), nem através do tempo. Esta ausência de diferenças por efeito das doses de nitrogênio (Figura 3) demonstra que possivelmente a degradação microbiana deste elemento tem relação com a qualidade inicial do material incubado, possivelmente pelos teores de fibras e celulose mais acentuado, e a falta de determinados microrganismos no metabolismo do C. Além disso, a falta de precipitação na maior partado período de incubação (Figura 1) dificulta o processo de decomposição dos materiais alinhado a concentração de N no solo que é o principal catalisador da taxa de decomposição (Li et al. 2011).

A maior mineralização do C remanescente na serrapilheira ocorreu no período de maior precipitação (Figura 1) o que reforça a importância do equilíbrio de água e nutrientes no processo de mineralização e disponibilidade dos nutrientes. Segundo Bray et al. (2012), a variabilidade da população de microrganismos decompositores presentes no solo sofre influência da qualidade da serrapilheira, excreta e qualidade da forragem.

Foram encontrados teores médios de C de 362,5; 349; 357 e 342 g kg⁻¹ nas doses de 0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com mineralização de 93, 95, 96 e 94% respectivamente.

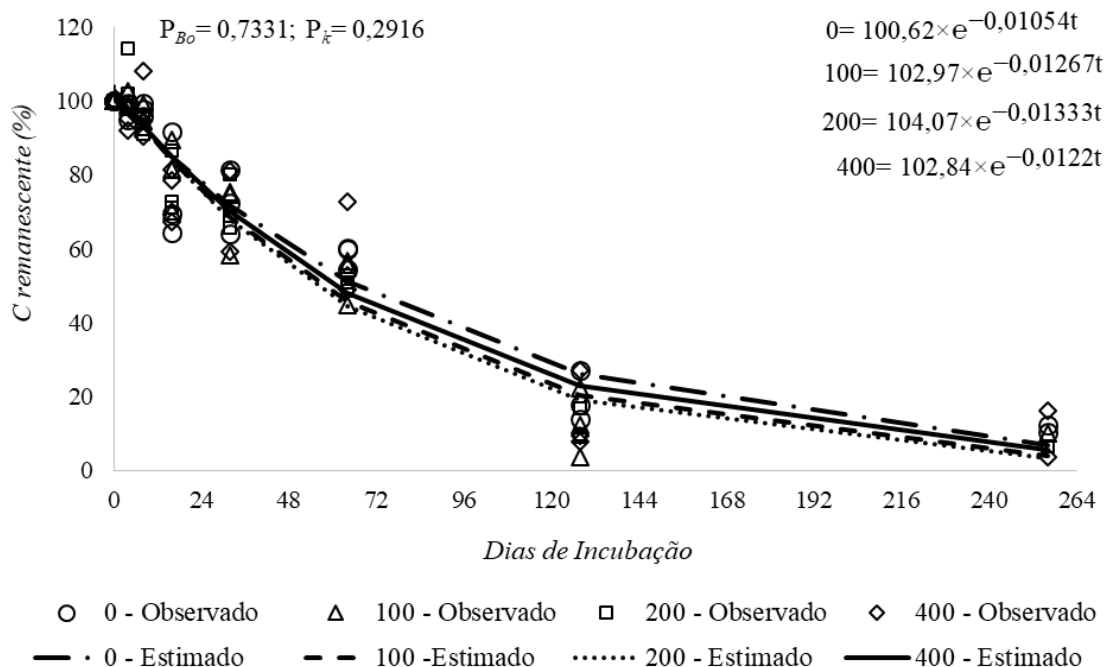


Figura 3 - Carbono (C) remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019.

O N remanescente da serrapilheira, através do tempo, não foi influenciado pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P, $B_0 = 0,1637$; $k = 0,4269$), no processo de decomposição (Figura 4). Inicialmente a alta concentração e o gradiente de variação no comportamento das doses com a disponibilização de N, indica elementos e fatores no ambiente que poderiam estar limitando a liberação deste elemento para o ambiente, provavelmente a falta de água, como observada na Figura 1 no momento da incubação no mês de setembro, fazendo com que este permaneça imobilizado na biomassa microbiana.

Segundo Dubeux et al. (2006b), a imobilização de N na biomassa remanescente no início da incubação ocorre devido a baixa qualidade do resíduo característico das gramíneas de espécie C₄. O baixo teor de N e alto teor de C, faz com que a imobilização de N seja superior a mineralização. A imobilização de nitrogênio acontece, conforme Apolinário et al. (2014) quando os microrganismos do solo convertem um elemento das formas inorgânicas em orgânicas. Quando o conjunto de nutrientes minerais do solo é limitado, os micróbios absorvem esses nutrientes e os retêm na biomassa microbiana.

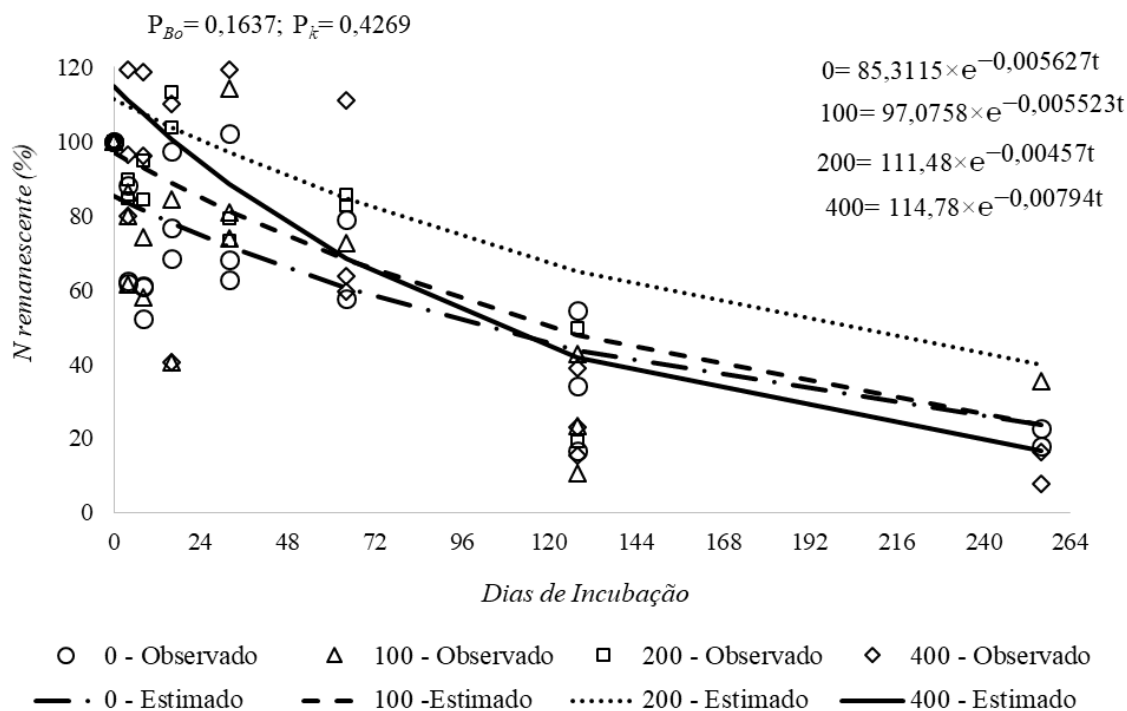


Figura 4 - Nitrogênio (N) remanescente através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019.

A mineralização média de N entre as diferentes doses de N foi de 74 % (Figura 4) no final do período de incubação, com 256 dias, pela maior precipitação nesse período favorecendo liberação de nitrogênio para o sistema.

Levando em consideração a deposição de serrapilheira média, 1800 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ citada por Xavier et al (2014) em sistema integrado com brachiaria, pode-se estimar uma contribuição de N em torno de 12,2 kg N mensal que representaria retornos anuais em torno de 146,4 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ via serrapilheira, considerando o teor médio inicial entre as doses de 9,2 g kg⁻¹ N (Tabela 1) e mineralização média de 74 % (Figura 4) nos níveis de adubação 0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ aos 256 dias.

Apesar da menor mineralização de N observada no período inicial de incubação, indicar maior dificuldade de decomposição e disponibilidade desse nutriente para o meio ambiente (Freire et al. 2010), pode significar uma distribuição temporal mais homogênea da serrapilheira na superfície do solo, se constituindo com importante via de fornecimento desse nutriente em ecossistemas de pastagens.

Considerando, a cotação de mercado da fonte mineral de N, fornecido por Trading companys da região, safra 2020/2021, o valor médio da ureia foi de U\$ 480,00 a tonelada, e

custo de U\$ 1,04 por kg N, com o incremento médio estimado de 146 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ via serrapilheira representaria economia de 152,7 U\$ ha⁻¹ ano⁻¹ na aquisição da fonte de N mineral para as pastagens. Contudo, deve-se considerar que são valores estimados, não levando em consideração as perdas de N na mineralização da serrapilheira e na adição da ureia na pastagem. A eficiência do uso de N pela serrapilheira é diferente da fonte mineral, pela disponibilização mais lenta e gradual no sistema solo-planta, enquanto que o N via ureia, a disponibilização ocorre de forma mais rápida porém com perdas possivelmente maiores, em função das características da fonte e condições ambientais no momento da aplicação.

Vale ressaltar que o objetivo não é a substituição da fonte de N, mas valorar o serviço ecossistêmico fornecido pela serrapilheira da pastagem por meio da ciclagem de nutrientes, tendo em vista a quantidade de N adicionado no sistema solo-planta, e assim, tê-lo como componente dos insumos de produção. Segundo Sollenberg et al. (2019) os sistemas de maior entrada favorecem o aumento da entrega de serviço ecossistêmico pois resultam de serrapilheira de melhor qualidade, forragem mais digerível e ganho de peso vivo animal mais rápido.

Desta forma, por um lado, o acúmulo de N significa menor quantidade de nutriente disponibilizado no ambiente e por outro, a lenta mineralização, disponibiliza os nutrientes de forma gradual, com benefícios para a manutenção da fertilidade do solo e fornecimento de nutrientes para as plantas de forma constante, em especial, as pastagens cultivadas sob sistema agrossilvipastoril com constante input de resíduos que permitem maior ciclagem de nutrientes.

A relação C:N através do tempo, não foi influenciada pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P, $B_0=0,1068$; $k=0,3213$) (Figura 5) uma vez que os valores médios observados na serrapilheira do capim, apresentaram alta relação C:N, de 54:1, 30:1, 36:1 e 41:1 nas doses 0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 1) e geralmente relação C:N para gramíneas tropicais apresentam altos valores. A partir dos 128 dias de incubação a relação C:N favoreceu o processo de decomposição com mineralização média do material de 90% aos 256 dias, entre as diferentes doses de N.

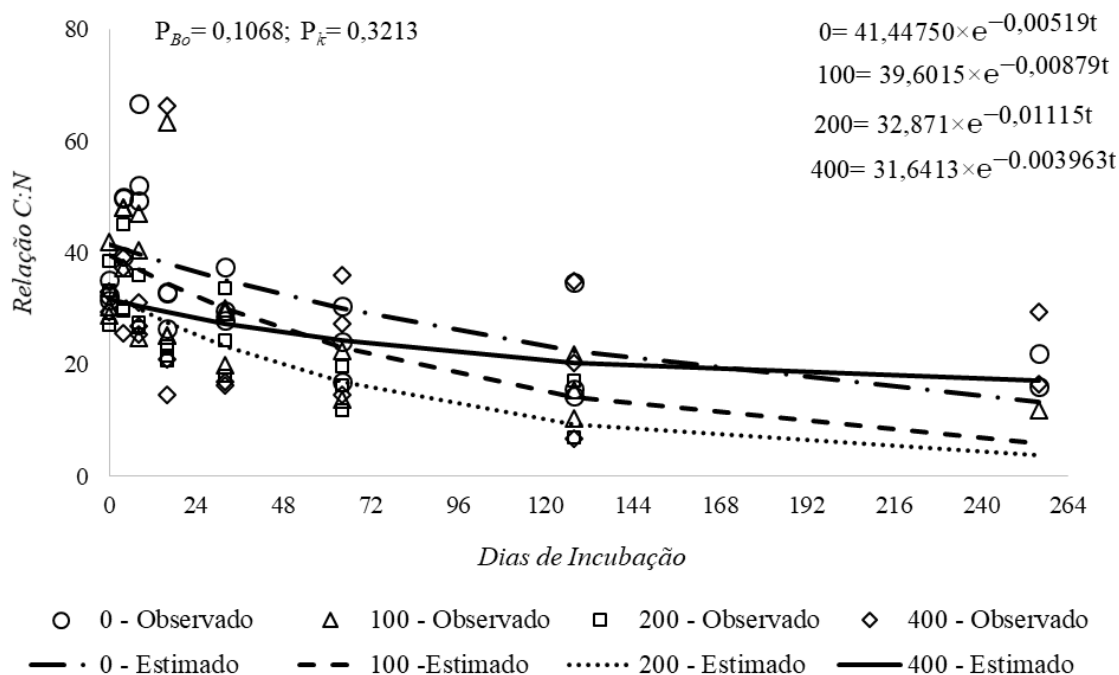


Figura 5 - Relação C:N através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019.

A alta relação C:N resulta em maior dificuldade de degradação do material, mesmo sob diferentes quantidades de N aplicado. Siqueira e Franco (1988) comentam que quando a serrapilheira apresenta relação C:N superior a 30:1, o nitrogênio fica imobilizado, e como consequência há redução na disponibilidade de $N-NH_4^+$ (amônio) e $N-NO_3^-$ (nitrato) no solo. Quando a relação fica entre 20-30:1, os processos de imobilização e mineralização se igualam, e abaixo de 20:1, ocorre a mineralização com a maior disponibilidade de compostos nitrogenados.

Apesar destas altas relações C:N levarem a uma imobilização líquida de nutrientes que estariam disponíveis para as plantas, Fisher et al. (1994) sugerem que gramíneas forrageiras de clima tropical são capazes de aumentar o armazenamento de C no solo, devido ao extenso sistema radicular.

A porcentagem de fibra em detergente neutro (FDN), através do tempo não foi influenciada pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P, $B_0 = 0,0664$; $k = 0,1822$). Houve um gradiente na variação entre os valores de fibra, no início da incubação do material (Figura 6) possivelmente devido a decomposição inicial mais rápida dos compostos polifenóis/fenólicos presentes no material e pelo teor médio de FDN que foram encontrados de $608,3 \text{ g kg}^{-1}$ entre as doses ao longo da incubação (Tabela 1). Os

constituintes do material em decomposição, por serem compostos por compostos insolúveis, exigem enzimas dos micro-organismos para se decompor (Allison e Vitousek 2004).

O maior conteúdo de fibras reduz a degradação do material e consequente liberação de nutrientes para o ecossistema da pastagem, e se constitui como importante fator de proteção química da matéria orgânica sobre o solo, uma vez que sua permanência resulta em barreira física a ação de processos naturais e antrópicos bem como recicla nutrientes de forma gradativa promovendo equilíbrio no ambiente.

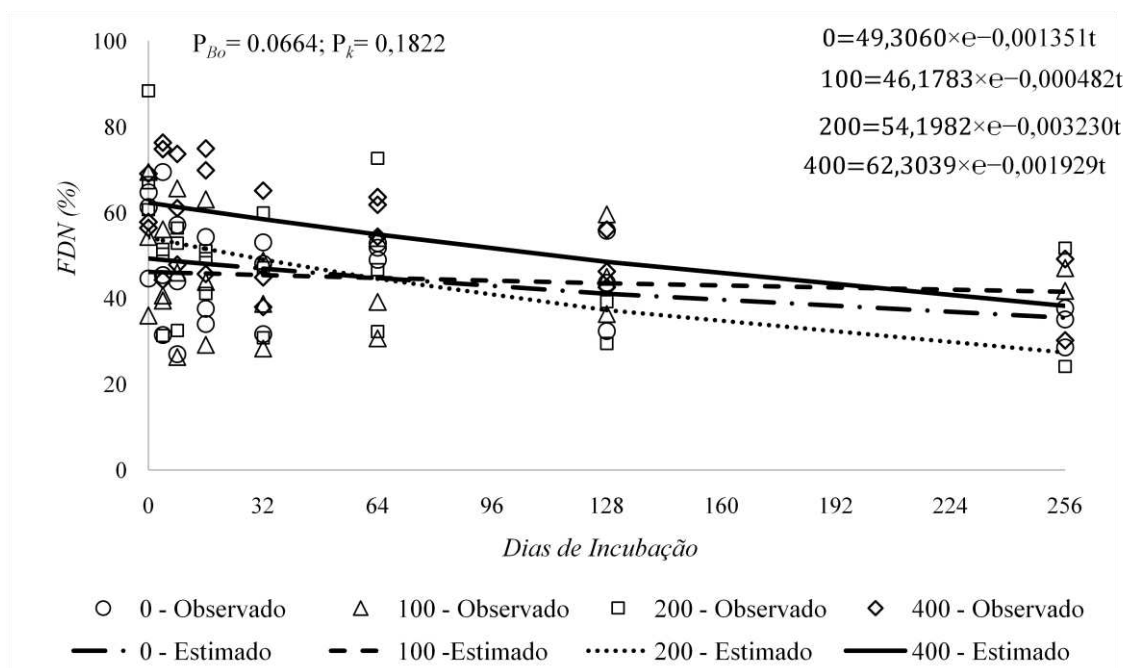


Figura 6 - Fibra em detergente neutro (FDN) através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019.

A porcentagem de fibra em detergente ácido (FDA), através do tempo não foi influenciada pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P, $B_0 = 0,6822$; $k = 0,7230$). Houve comportamento muito semelhante entre os valores de fibra e as doses de N, durante todo período de incubação do material (Figura 7), provavelmente pelo teores apresentados no material serem muito semelhantes entre as distintas doses com média de $289,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 1). A mineralização média foi de 66 % entre as doses ao final de 256 dias de incubação, demonstrando o alto conteúdo de compostos de difícil degradação, dificultando a ação dos microrganismos decompositores.

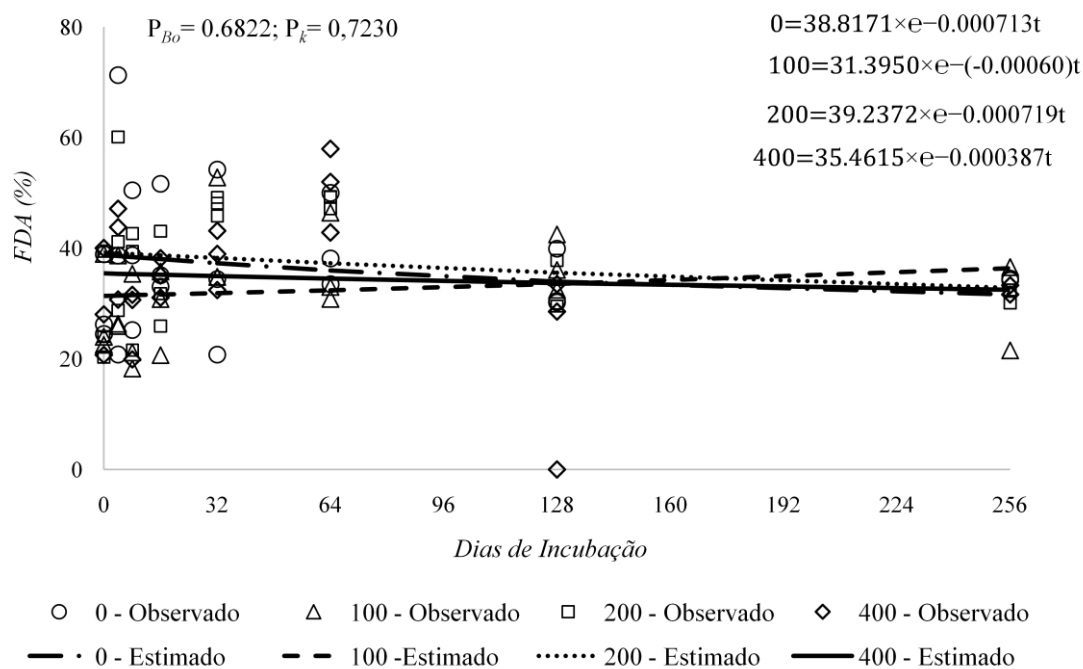


Figura 7 - Fibra em detergente ácido (FDA) através do tempo da serrapilheira de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2019.

3.2 Decomposição e composição química da excreta

O modelo exponencial negativo simples foi adequado para explicar a curva de decomposição para a biomassa remanescente, C, N, C:N, e teores de FDN e FDA ao longo do tempo para a excreta animal, nos diferentes tratamentos avaliados. Porém, não houve efeito da interação ($P > 0,05$) tratamento e tempo de incubação para nenhuma das variáveis analisadas.

A biomassa remanescente da excreta apresentou diferença nos valores estimados (Valor-P, $B_0 = 0,0495$), entre as doses de N, logo no início da decomposição (Figura 8), com maior desaparecimento na dose 400 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, porém sem diferenças no decorrer do processo de decomposição ($k = 0,6239$). A precipitação (Figura 1) somado a adição de nitrogênio, pode ter favorecido o processo de desintegração física das placas, no início da decomposição, cujo impacto das gotas de chuva juntamente com a atividade microbiana é descrito por Haynes e Williams (1993) como principal fator responsável pela desintegração ou decomposição das placas de fezes.

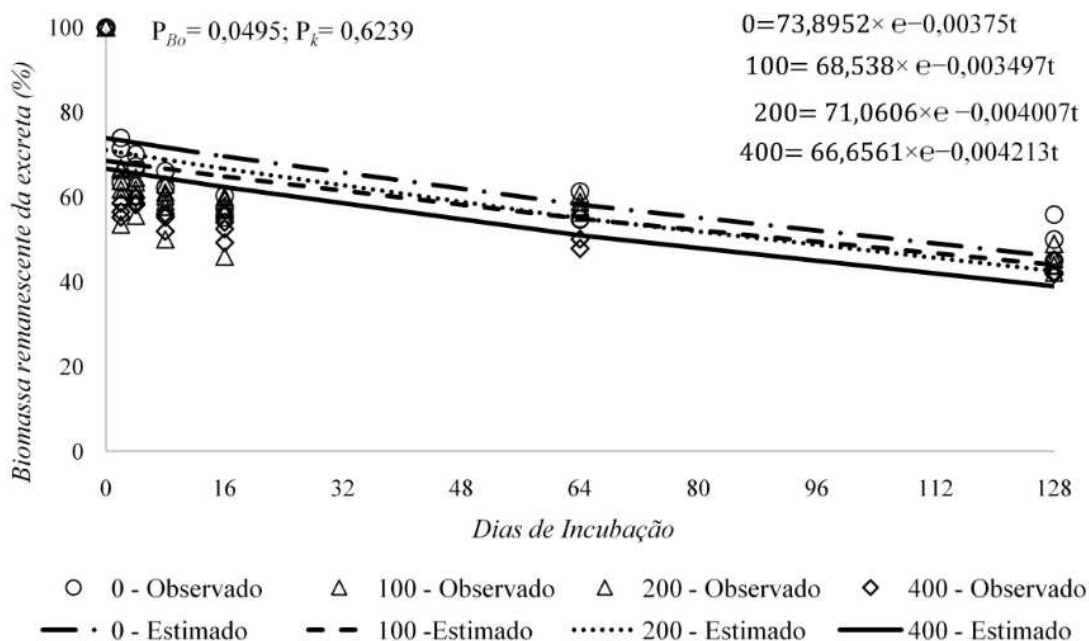


Figura 8 - Biomassa remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

Possivelmente não houve diferença devido a natureza dos constituintes, apresentando decomposição mais lenta que pode resultar em baixa taxa de liberação de nutrientes. Segundo Haynes e Williams (1993), essa degradação mais lenta do material fecal pode estar relacionado a dois processos como a quebra física, causada pelo impacto das gotas de chuva e o pisoteio dos animais; que nesta pesquisa foram simulados pela quebra e fracionamento das placas quando incubadas nos sacos, e por processos biológicos advindos da ação de fungos, bactérias, minhocas e besouros.

A taxa de decomposição foi de ($k = 0,00375 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$; $k = 0,003497 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$; $k = 0,004007 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ e $k = 0,004213 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$) nas doses 0, 100, 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ ao longo do período de avaliação, com comportamento muito próximo entre as doses e o tempo de incubação do material, demonstrando a lenta decomposição das fezes, com velocidade média de decomposição de ($k = 0,00386675 \text{ g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$). Aos 128 dias restaram 38% do material incubado, na dose 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e mineralização média entre as doses, de 45,7 % significando decomposição mais lenta e gradual. Hirata et al. (2009) observaram que, em sistema silvipastoril, a decomposição de fezes foi consideravelmente lenta, demonstrando taxas de 1,37-3,05 g⁻¹ de MS dia⁻¹, com variação de 0,51-1,63 g⁻¹ dia⁻¹ de N.

O carbono remanescente apresentou diferença nos valores estimados (Valor-P, $B_0 = 0,0482$) entre as doses de N logo no início da decomposição (Figura 9), com maior

desaparecimento, na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, porém sem diferenças no decorrer do processo de decomposição ($k = 0,0673$). Essa diferença inicial pode ser explicada pela presença de umidade nas fezes somado a adição de N, que facilitou a degradação inicial das frações menos recalcitrantes presentes no material. Porém, a porcentagem de C remanescente no material foi elevada, na ausência de N, variando de 85% a 45%, entre 0 e 128 dias após incubação.

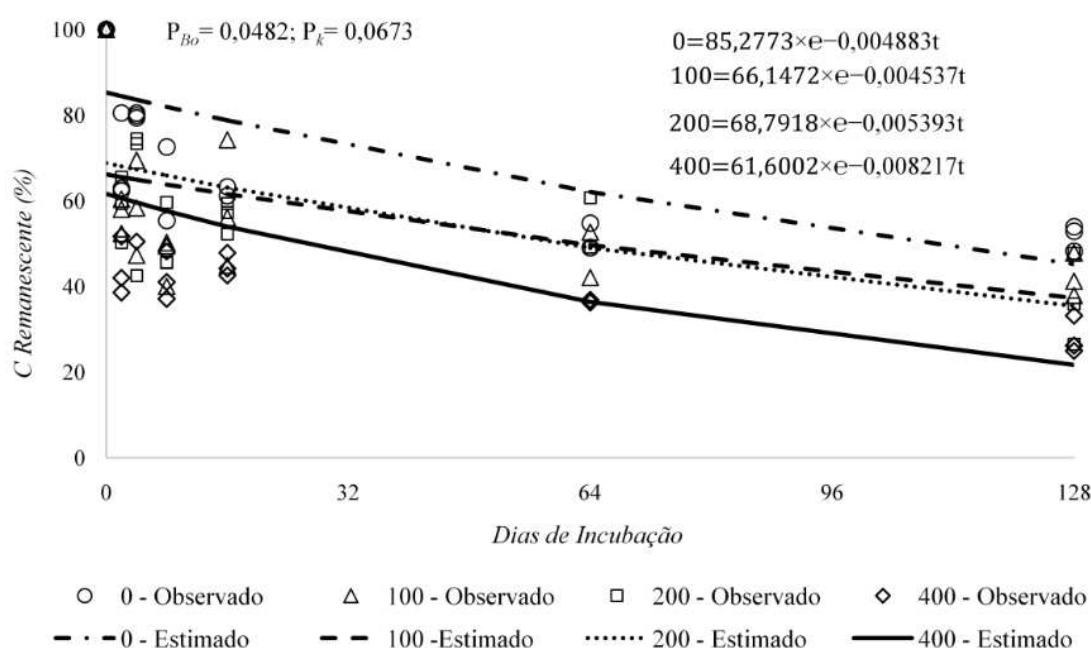


Figura 9 - Carbono (C) remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

A mineralização média entre as doses foi de 65 % que revela a qualidade do material em relação aos seus constituintes no processo de decomposição. Isso evidencia que apesar da disponibilização de C ocorrer de forma mais lenta, por outro lado, no processo de ciclagem de nutrientes as concentrações dos nutrientes serão disponibilizadas de forma mais gradativa garantindo fornecimento de nutrientes no sistema de forma constante, destacando-se a importância dos animais e o seu potencial em prover serviços ecossistêmicos em pastagens tropicais.

Os teores de C que foram observados nas fezes revela a similaridade entre as doses na disponibilização de C, com médias de 311,77; 325,55; 340 e 411,43 g kg⁻¹ ao longo do período de incubação do material. As diferenças na composição bioquímica dos materiais podem alterar a estrutura da comunidade da biomassa microbiana e afetar a sua eficiência no

uso do C, resultando em diferenças na mineralização do C de diferentes fontes orgânicas (Silva et al. 2010).

O N remanescente na excreta, através do tempo, não foi influenciado pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P, $B_0 = 0,2656$; $k = 0,4574$) no processo de decomposição (Figura 10). Pode se concluir que houve perda de N, pela precipitação e temperatura durante a aplicação dos tratamentos. Há um gradiente de variação no comportamento entre as doses (Figura 10) em relação aos períodos iniciais da incubação.

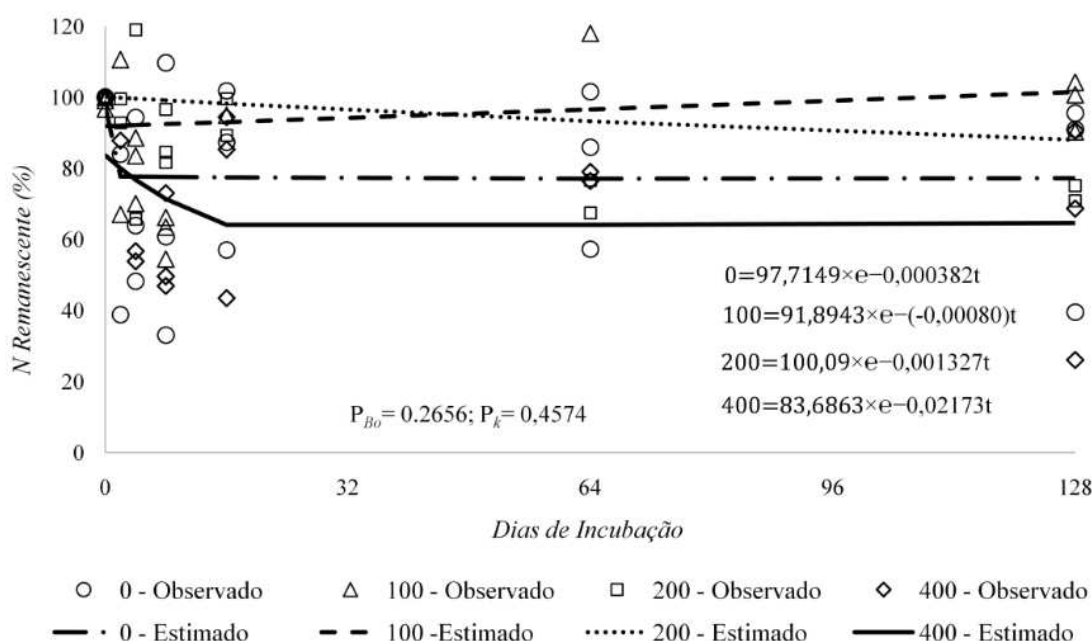


Figura 10 - Nitrogênio (N) remanescente através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

Ocorre relação inversa entre as doses 100 e 200 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com taxa de decomposição entre ($k = 0,00080$ g g⁻¹dia⁻¹ e $0,001327$ g g⁻¹dia⁻¹) do início ao fim do período de incubação, e uma semelhança entre a maior dose 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com o tratamento controle, 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, ao longo de todo período de avaliação, com concentração de N no material em decomposição. Com 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ observa-se queda na decomposição nos primeiros 16 dias, e se manteve constante até o final da incubação apresentando taxa de decomposição de $k = 0,02173$ g g⁻¹dia⁻¹ ao final de 128 dias. Contudo, a mineralização de N foi lenta, com média entre as doses de N de 17,1 % aos 128 dias de incubação.

Considerando uma deposição de excreta média de $2,8 \text{ kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e taxa de lotação de 3 UA ha^{-1} , com deposição mensal de $252 \text{ kg MS ha}^{-1}$ citado por Xavier et al (2014) em sistema integrado com brachiaria e o teor médio inicial de $9,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$ (Tabela 2) e mineralização média de 17% (Figura 10) nos níveis de adubação 0, 100, 200 e $400 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ aos 128 dias, pode-se estimar uma contribuição de N em torno de $0,4 \text{ kg N mensal}$ que representaria retornos anuais em torno de $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ via excreta.

Considerando a cotação de mercado de U\$ 480,00, o incremento médio estimado de $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ via fezes representaria economia de $5,2 \text{ U\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na aquisição da fonte de N mineral para as pastagens. Vale destacar que não foram considerados as perdas de N na mineralização da excreta e na adição da ureia na pastagem. Conforme observado, a excreta apresenta liberação mais lenta de N com 100 dias em decomposição, necessitando períodos maiores de avaliação para se estimar a maior contribuição de N no sistema via excrementos animais.

Contudo, vale ressaltar a importância da contribuição dos animais no fornecimento de nutrientes para o sistema solo-planta pelo serviço ecossistêmico prestado com a ciclagem de nutrientes da excreta e urina, destacando que a quantidade de N que é retornada ao solo, é influenciada pelo tempo de decomposição, taxa de lotação e período de permanência dos animais na área, e frequência de excreção.

Desta forma, a ciclagem de N via fezes sob pastejo contínuo de animais tende a ser menos eficiente considerando a distribuição espacial de fezes que não é homogênea, com pontos de concentração próximo a bebedouros e saleiros, além de áreas de pastejo e ócio. Essa distribuição não homogênea, altera o hábito de pastejo dos animais aumentando sua seletividade pela redução no consumo de forragem. Este comportamento pode levar ao aumento da maturidade da gramínea e criar "pontos de pastagem" caracterizados por forragem senescente evitado pelos pastejadores (Teixeira et al. 2012), o que resulta em diminuição da fertilidade do solo em algumas áreas e aumento da fertilidade do solo em outros.

Contudo, conforme Dubeux (2005) avaliando intensidade de pastejo em lotação contínua e rotacionada, verificou como estratégia para a distribuição mais homogênea, o método de pastejo rotacionado, cujo hábito de pastejo dos animais é alterado, com redução da permanência nas áreas de colheita da forragem maximizando o crescimento e utilização da forragem e pela alteração dos pontos de acesso a água e saleiros e assim proporcionar melhor distribuição dos animais na área e consequente deposição de fezes mais homogênea.

De maneira geral, há concentração de nitrogênio na excreta durante todo período de incubação, provavelmente a maior parte desse nutriente está imobilizado na biomassa microbiana, isso implica na lenta redução da taxa de decomposição e liberação desse nutriente para o solo. O N assimilado pelos microrganismos volta a ser mineralizado após a morte dos mesmos, podendo ainda ser incorporado pelas células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos que, gradualmente, formam a MO (Azeez et al. 2010).

A quantidade de nitrogênio mineralizado das fezes está relacionada com o conteúdo total de N, cuja mineralização pode ser mais lenta, em função da alta porcentagem de C que foram encontrados nas fezes (Figura 9), bem como pela qualidade e tipo de alimento ingerido pelos animais. A mineralização do nitrogênio pode ser mais lenta nas fezes que nos materiais das plantas de que foi derivada, não somente devido à relação C:N, uma vez que esta pode ser semelhante entre os dois materiais, mas sim à larga proporção do carbono presente nas fezes como material fibroso e indigestível (celulose, hemicelulose e lignina) (Haynes e Williams 1993). Além dos fatores relacionados ao ambiente, o tipo de alimento consumido pelo animal (gramíneas, leguminosas ou concentrados) e a quantidade de água ingerida podem afetar na quantidade de N excretado (Hristov et al. 2013; Burchill et al. 2017).

A relação C:N da excreta através do tempo, não foi influenciada pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros estimados (Valor-P , $B_0=0,9285$; $k=0,6075$) (Figura 11) apresentando valores médios de 34:1, 42:1, 43:1, 32:1 respectivamente nas doses 0, 100, 200 e 400 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Tabela 2). Essa relação C:N alta resulta em maior dificuldade de degradação do material e consequente imobilização de N conforme observado (Figura 10). As relações C:N acima de 30 ocorre imobilização de N, entre 20:30 as relações se igualam, imobilização e mineralização, e menores que 20, ocorre a mineralização.

Aos 128 dias de incubação, a relação C:N favorece o processo de decomposição com mineralização média de 83,5% entre as diferentes doses de N.

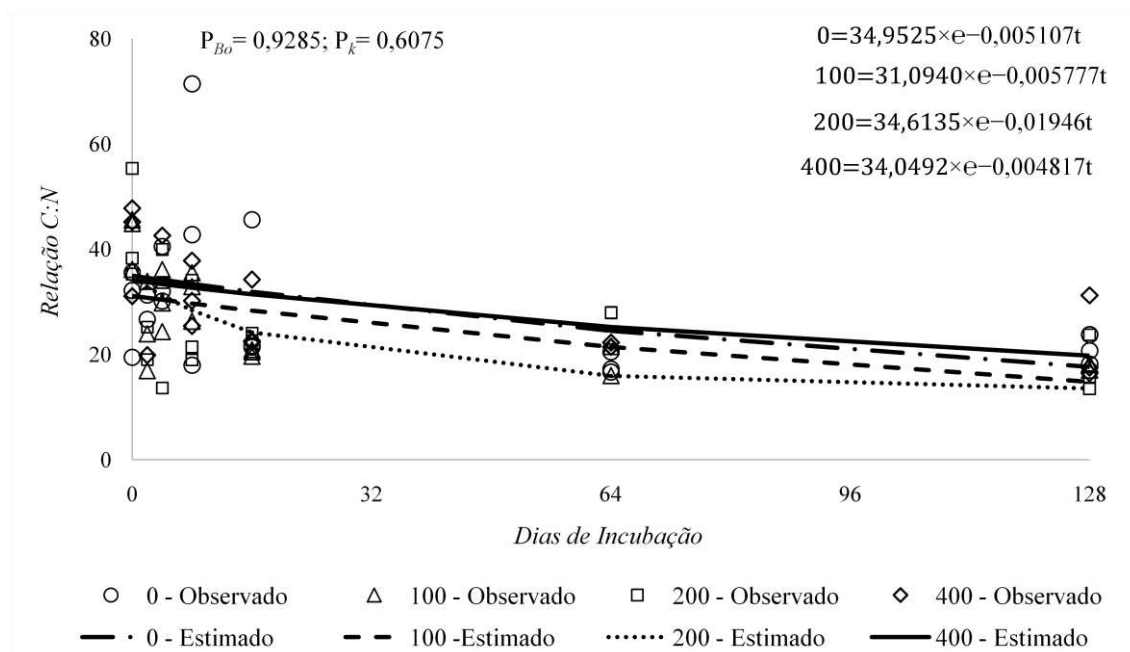


Figura 11 - Relação C:N através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

A porcentagem de fibra em detergente neutro, através do tempo não foi influenciada pela adubação nitrogenada, nem seus parâmetros (Valor-P, $B_0 = 0,6818$; $k = 0,7658$) (Figura 12). A fibra apresenta em sua composição, compostos mais recalcitrantes e insolúveis que exigem enzimas dos micro-organismos para a sua degradação.

O teor médio de FDN nas fezes foi de $327,3 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2) apresentando mineralização média, entre as doses de N de 73,8 % aos 128 dias de incubação, demonstrando o alto conteúdo de material de difícil degradação, dificultando a ação dos microrganismos nas placas de fezes.

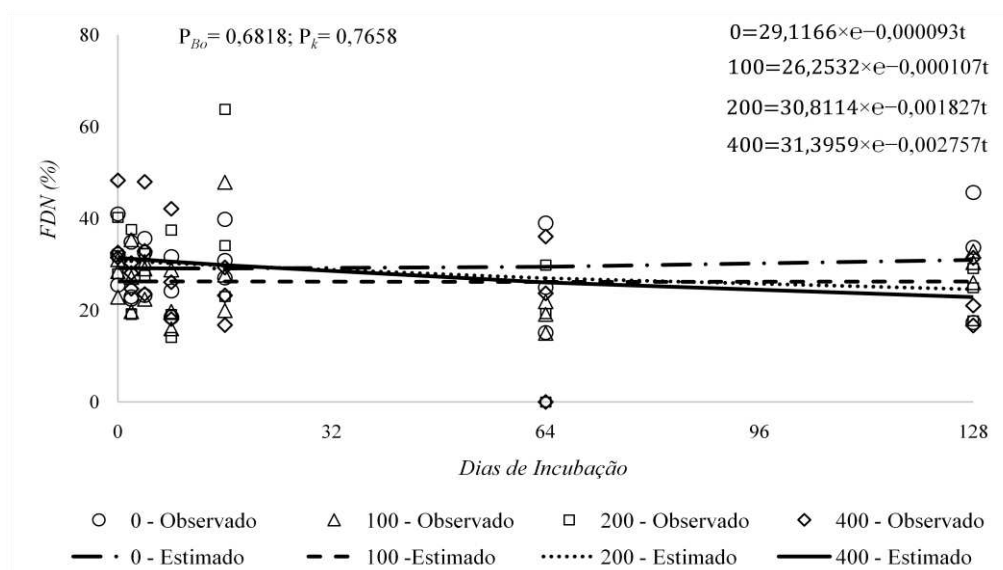


Figura 12 - Fibra em detergente neutro (FDN) através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

A fibra em detergente ácido remanescente apresentou diferença nos valores estimados (Valor-P, $B_0 = 0,0331$) entre as doses de N logo no início da decomposição (Figura 13) com maior desaparecimento na dose 100 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, contudo sem diferença ao longo do processo de decomposição ($k = 0,0747$). O teor médio de FDA encontrado nas fezes foi de 289,825g kg^{-1} com mineralização média entre as doses de 71,5 %, ao final do período de incubação, indicando a lenta degradação e dificuldade de ação dos organismos decompositores nas placas de fezes.

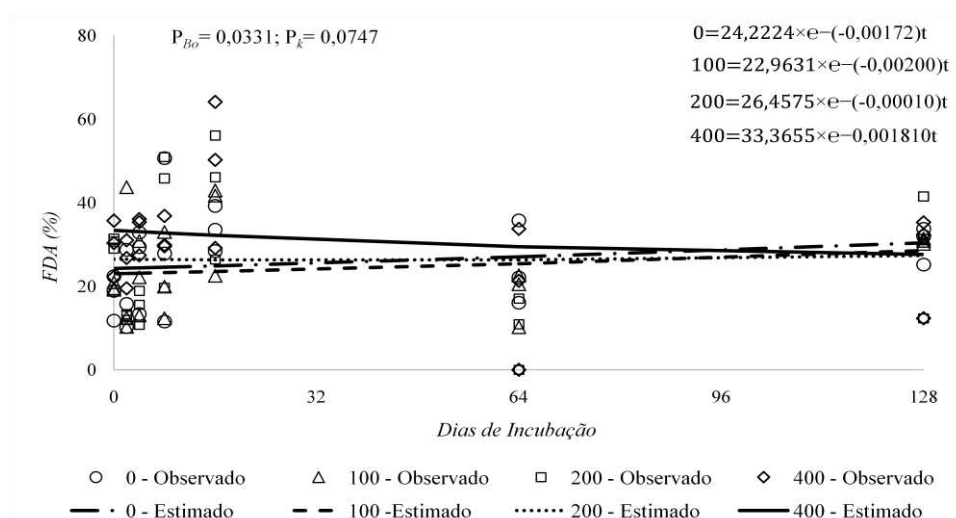


Figura 13 - Fibra em detergente ácido (FDA) através do tempo da excreta de ruminantes em pastejo contínuo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril em 2020.

Observa-se elevação nos teores de fibra ao final do período de incubação do material, com valores negativos na taxa de decomposição, em razão dos compostos mais solúveis do material serem lixiviados mais rapidamente, nos períodos iniciais de decomposição, permanecendo compostos mais recalcitrantes de difícil degradação, como a celulose e lignina que elevaram a porcentagem de fibra a medida que avança o tempo de decomposição.

Esse resultado pode ter relação com a atividade microbiológica nas placas de fezes pelos microorganismos (Braz et al. 2002). Resultado divergente ao observado nesta pesquisa foi encontrado por Braz et al. (2002), verificando perdas nas quantidades de FDA acima de 40%, em 7 dias de avaliação, atribuindo a atividade dos microorganismos e liberação de CO₂ pela concentração de cinzas nas placas.

Apesar da adubação não influenciar diretamente na decomposição da excreta em função de alguns fatores como as condições edafoclimáticas, o alimento consumido pelo animal, a sua composição química, a consistência das fezes, e a cobertura vegetal da área onde foi depositada, infere-se que a ciclagem de nutrientes pela excreta, sob as condições avaliadas, é representada pela deposição constante de resíduos (fezes e urina) e do manejo empregado na área que permitem equilíbrio no fornecimento de nutrientes com a degradação do material depositado sobre o solo.

Desse modo, evidencia-se a necessidade de sincronizar a introdução de outras fontes de nutrientes que possam acelerar ou retardar a decomposição, de acordo com os objetivos do manejo, de forma que os recursos nutricionais estejam disponíveis quando as forragens necessitarem de mais nutrientes para o desenvolvimento ou reprodução, especialmente após o pastejo.

4. Conclusões

Os níveis de nitrogênio aplicados não influenciaram a decomposição da serrapilheira e excretas.

A contribuição dos nutrientes via decomposição da serrapilheira foi mais rápida que no componente excreta, devido a maior concentração de nutrientes e taxa de decomposição.

O tempo de incubação de 128 dias não foi suficiente para expressar o comportamento real da decomposição na serrapilheira. Assim se torna necessário cada vez mais experimentos a longo prazo que avaliem a decomposição de nutrientes em pastagens tropicais fertilizadas com N.

Referências

- Allison SD, Vitousek PM (2004) Extracellular enzyme activities and carbon chemistry as drivers of tropical plant litter decomposition. *Biotropica* 36(3):285-296. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2004.tb00321.x>
- Apolinário VXO, Dubeux Jr JCB, Mello ACL, Vendramini JMB, Lira MA, Santos MVF, Muir JP (2013) Deposition and decomposition of signal grass pasture litter under varying nitrogen fertilizer and stocking rates. *Agron J* 105(4):999-1004. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0433>
- Apolinário VXO, Dubeux Jr JCB, Mello ACL, Vendramini JMB, Lira MA, Santos MVF, Muir JP (2014) Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates and nitrogen fertilizer levels. *Agron J* 106:622–627. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0496>
- Assmann JM, Anghinoni I, Martins AP, Costa SEVGA, Cecagno D, Carlos FS, Carvalho PCF (2014) Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosys Environ* 190:52-59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>
- Azeez JO, Van Averbeke W (2010) Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Agriculture, Ecosys Environ* 101(14):5645-5651. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.119>
- Barcellos AO, Ramos AKB, Vilela L, Marth Jr GB(2008) Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. *Rev Bras Zootec* 37:51-67
- Berg B, McLaugherty C (2014) Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Berlin, Heidelberg.
- Bezerra EB, Barreto LP (2011) Análises químicas e bioquímicas em plantas. UFRPE, Recife
- Bocock KL, Gilbert OJW (1957) The disappearance of litter under different woodland conditions. *Plant Soil* 9(2):179-185. <https://doi.org/10.1007/BF01398924>
- Boddey RM, Macedo R, Tarré RM, Ferreira E, Oliveira OC, Rezende CP, Cantarutti RB, Pereira JM, Alves BJR, Urquiaga S (2004) Nitrogen cycling in *Brachiariapastures*: The key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosys Environ* 103(2):389-403. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.010>
- Boldt RH, Silva ED, Prado RJ, Silva ED, Aker AM, Oliveira BE, Granha JRO, Caproni AL (2010) Avaliação das frações de biomassa depositada em sistemas em recuperação no município de alta floresta D'OesteRO. In:Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas
- Brady NC, Weil RR (2002) The Nature and Properties of Soil. Prentice-Hall, New Jersey
- Bray SR, Kitajima K, Mack MC (2012) Temporal dynamics of microbial communities on decomposing leaf litter of 10 plant species in relation to decomposition rate. *Soil Biol Biochem* 49:30–37. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.009>

- Braz SP, Nascimento Jr D, Cantarutt RB, Regazzi AJ, Martins CE, Fonseca DM, Barbosa RA (2002) Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. *Rev Bras Zootec* 31:858-865. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000400008>
- Bruce RC, Ebersohn JP (1982) Litter measurements in two grazed pastures in southeast Queensland. *Trop. Grassl* 16(4):180-185
- Burchill W, Lanigan GJ, Forrester PJ, Misselbrook T, Richards KG (2017) Ammonia emissions from urine patches amended with N stabilized fertilizer formulations. *NutrCycl Agroecosyst* 108:163–175. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9847-9>
- Coleman DC, Crossley DA (1996) *Fundamental of soil ecology*. Academic Press, London
- Detmann E, Souza MA, Valadares Filho SC, Queiroz AC, Berchielli TT, Saliba EOS, Cabral LS, Pina DS, Ladeira MM, Azevêdo JAG (2012) Métodos para análise de alimentos INCT Ciência Animal. Visconde do Rio Branco, Minas Gerais
- Dubeux Jr JCB (2005) Management strategies to improve nutrient cycling in grazed Pensacola bahiagrass pastures. Tese, University of Florida
- Dubeux Jr JCB, Sollenberger LE, Vendramini JMB, Stewart Jr RL, Interrante SM (2006a) Litter mass, deposition rate, and chemical composition in bahiagrass pastures managed at different intensities. *Crop Sci* 46:1299-1304. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.08-0262>
- Dubeux Jr JCB, Sollenberger LE, Interrante SM, Vendramini JMB, Stewart Jr RL (2006b) Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. *Crop Sci* 46:1305–1310. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.08-0263>
- Dubeux Jr JCB, Sollenberger LE (2020) Nutrient cycling in grazed pastures. In: Rouquette Jr M, Aiken GE (Ed.). *Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures*. Elsevier ed. United States: Elsevier Inc 59–75
- Ferreira LCB, Machado Filho LCP, Hoetzel MJ, Labarrère JG (2011) O efeito de diferentes disponibilidades de sombreamento na dispersão das fezes dos bovinos nas pastagens. *Rev Bras Agroecol* 6(1):137-146
- Fisher MJ, Rao IM, Ayarza MA, Lascano CE, Sanz JI, Thomas RJ, Vera RR (1994) Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238. <https://doi.org/10.1038/371236a0>
- Freire JL, Dubeux Jr JCB, Lira MA, Ferreira RLC, Santos MVF, Freitas EV (2010) Litter deposition and chemical composition under a sabiá canopy. *Rev Bras Zootec* 39:1650–1668
- Griffith GS, Boddy L (1990) Fungal decomposition of attached angiosperm twigs. I. Decay community development in ash, beech and oak. *New Phytologist* 116:407–415. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00526.x>

- Haynes RJ, Williams PH (1993) Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances Agron* 49:119-199.[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4)
- Hirata M, Hasegawa N, Nomura M, Ito H, Nogami K, Sonoda T (2009) Deposition and decomposition of cattle dung in forest grazing in southern Kyushu, Japan. *Ecol Res* 24:119-125. <https://doi.org/10.1007/s11284-008-0488-y>
- Hirata M, Higashiyama M, Hasegawa N (2011) Diurnal pattern of excretion in grazing cattle. *Livestock Sci* 142(1):23-32.<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.015>
- Karam SL, Weisberg PJ, Scheller RM, Johnson DW, Miller WW (2013) Development and evaluation of a nutrient cycling extension for the LANDIS-II landscape simulation model. *Ecol Modell* 250:45-57.<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.016>
- Li LJ, Zeng DH, Yu ZY, Fan ZP, Yang D, Liu YX (2011) Impact of litter quality and soil nutrient availability on leaf decomposition rate in a semi-arid grassland of Northeast China. *J Arid Environ* 75(9):787–792.<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.04.009>
- Lin H, Hong T, Wu CZ, Chen H, Chen C, LI J, Fan HL(2012) Monthly variation in litterfall and the amount of nutrients in an *Aleurites montana* plantation. *For Stud China* 14:30-35.<https://doi.org/10.1007/s11632-012-0109-2>
- Moura EG, Serpa SS, Santos JGD, Sobrinho JRSC, Aguiar ADCF (2010) Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. *Plant Soil* 335(1) :363-371. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0424-0>
- Oliveira GL, Oliveira ME, Macêdo EO, Andrade AC, Edvan RL (2019) Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. *Agrofor Syst* 94:953–962. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00458-5>
- Paudel E, Dossa GGO, Xu J, Harrison RD (2015) Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. *Forest Ecol Manag* 353:97–106.<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.028>
- Pell AN, Schofiel P(1993) Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *J Dairy Sci* 76:1063-107
- Schmidt SK, Costello EK, Nemergut DR, Cleveland CC, Reed SC, Weintraub MN, Meyer AF, Martin AM(2007) Biogeochemical consequences of rapid microbial turnover and seasonal succession in soil. *Ecology* 88:1379–1385.<https://doi.org/10.1890/06-0164>
- Seneviratne G (2000) Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol Fertility Soils* 31(1):60-64.<https://doi.org/10.1007/s003740050624>
- Silva WM, Cremon C, Mapeli NC, Ferri M, Azambuja MW (2010) Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. *Ver Agrar* 2(6):33-46
- Sinsabaugh R, Carreiro M, Repert D (2002) Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter composition, N deposition, and mass loss. *Biogeochemist* 60(1):1-24. <https://doi.org/10.1023/A:1016541114786>

Siqueira JO, Franco AA (1988) Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Esal/Faep, Lavras

Sollenberger LE, Kohmann MM, Dubeux Jr JCB, Silveira ML (2019) Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. *Crop Sci* 59(2):441-459. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0594>

Song F, Fan X, Song R (2010) Review of mixed forest litter decomposition researches. *Acta Ecol Sin* 30(4):221–225. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.06.006>

Teixeira VI, Dubeux Jr JCB, Mello ACL, Lira Jr MA, Saraiva FM, Santos MVF, Lira MA (2012) Herbage mass, herbage rejection, and chemical composition of signalgrass under different stocking rates and distances from dung pads. *Crop Sci* 52(1):422-430. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.02.0094>

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74:3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Vendramini JMB, Dubeux Jr JCB, Silveira ML (2014) Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. *Rev Bras Ciênc Agrar* 9:308–315

Vendramini JMB, Silveira ML, Dubeux Jr JCB, Sollenberger LE (2007) Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. *Rev Bras Zootec* 36:139–149. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000015>

Wider RK, Lang GE (1982) A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63:1636–1642

Xavier DF, Ledo FJS, Paciullo DSC, Urquiaga S, Alves BJR, Boddey RM (2014) Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst* 99:45–62. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9617-x>