



PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO AGRONOMIA

FLÁVIA ALESSANDRA MIGNACCA

**SOLO CULTIVADO COM *Panicum* cv. MOMBAÇA SUBMETIDA A ADUBAÇÃO
MINERAL E EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS E SOJA NO VERÃO**

FLÁVIA ALESSANDRA MIGNACCA

**SOLO CULTIVADO COM *Panicum* cv. MOMBAÇA SUBMETIDA A ADUBAÇÃO
MINERAL E EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS E SOJA NO VERÃO**

Tese de Doutorado apresentada Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos

631.5
M631.5s Mignacca, Flávia Alessandra
Solo cultivado com *Panicum* cv. Mombaça submetida adubação mineral e em consórcio com leguminosas e soja no verão / Flávia Alessandra Mignacca. – Presidente Prudente, 2022.
79f.: il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal)
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2022.
Bibliografia.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos

1. Sistema plantio direto. 2. Compactação do solo. 3. Sistema radicular. 4. Resistência a penetração. 5. Solos arenosos. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

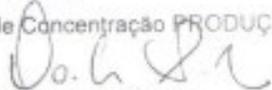
TÍTULO: "SOLO CULTIVADO COM *PANICUM MAXIMUM* cv. MOMBAÇA SUBMETIDO À ADUBAÇÃO MINERAL E EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS E SOJA NO VERÃO"

AUTOR(A): FLÁVIA ALESSANDRA MIGNACCA

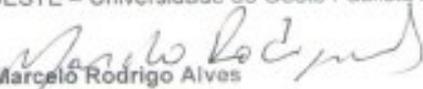
ORIENTADOR(A): Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA em AGRONOMIA

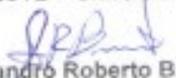
Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:


Dr. Carlos Sérgio Tiritan

UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)


Dr. Marcelo Rodrigo Alves

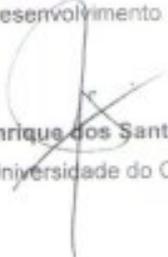
UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)


Dr. Sandro Roberto Brancalião

IAC – Instituto Agronômico / Ribeirão Preto (SP)


Dr. Diego Henriques dos Santos

Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Amazonas / Manaus (AM)


Dr. Carlos Henrique dos Santos

UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Presidente Prudente, 24 de fevereiro de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico à...

...primeiramente à Deus por me manter confiante em todos os momentos de desenvolvimento do trabalho.

... a minha amada mãe Eliete A. Brigatti, por todo apoio e dedicação durante o período acadêmico, sem ela não seria a mesma coisa.

... ao meu pai Flavio A. Mignacca, por todo apoio e dedicação durante minha caminhada.

... aos meus familiares por demonstrar tanto orgulho e apoio durante a minha caminhada.

... ao meu avô Domingos Mignacca Netto (in memoriam) que não conseguiu comemorar conosco mais essa vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e confiança;

Agradeço ao meu querido orientador, Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos pela amizade e contribuição na minha vida acadêmica e pessoal, pelas risadas e também pelos puxões de orelha. Essa fase não seria a mesma sem você!

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro com a taxa e bolsa;

Agradeço ao NUCLEUS Project: este trabalho foi realizado como parte do NUCLEUS: um centro conjunto virtual para oferecer maior eficiência do uso de nitrogênio por meio de uma abordagem de sistemas integrados solo-planta para o Reino Unido e o Brasil. Financiado no Brasil pela FAPESP - Fundação de Pesquisa de São Paulo [Bolsa 2015/50305-8], FAPEG - Fundação de Pesquisa de Goiás [Bolsa 2015-10267001479], e FAPEMA - Fundação de Pesquisa do Maranhão [Bolsa RCUK-02771/16] e no Reino Unido por BBSRC/Newton Fund [BB/N013201/1].

Agradeço à FUNDAÇÃO AGRISUS - Agricultura Sustentável (Proc. PA 2511/18) pelo apoio financeiro.

Agradeço a UNOESTE pela estrutura e ao corpo docente que fazem a diferença em minha formação acadêmica;

Agradeço a equipe de funcionários do Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da UNOESTE: Vinicius Gonçalves Santos, Gabriel Eustachio Alves, Luciana Muchiutti Pinheiro Assumpção, Viviane Ferreira, Jocenele Martins, Luma Freitas Correia, Luiz Eduardo Monzani e Murilo Oliveira pelo apoio, auxílio e principalmente pela amizade, com certeza vocês fizeram a diferença no dia-a-dia;

Agradeço as secretarias da pós-graduação: Joyce, Ina e principalmente Keid, que sempre estavam apostos para nos salvar quando ocorria algum imprevisto;

Agradeço a equipe da Fazenda Experimental da UNOESTE: Lucas Rodrigues, Edson Aparecido e Rosa Maria por todo auxílio no experimento, sem vocês seria impossível essa caminhada;

Agradeço também ao grupo de pesquisa GPAGRO e ao Engenheiro Agrônomo Amarildo Francisquini Júnior pela estruturação e execução dos manejos iniciais da área experimental;

Agradeço a minha amiga pessoal e profissional Camila Dias Pinaffi pelo apoio, auxílio e amizade;

Agradeço aos alunos da graduação em Agronomia: Carlos Henrique Britto Vasconcelos, Mariani Rubira, João Victor Pereira de Araújo, Luana Soares Santos, Luiz Gustavo Barbosa, Tassiane Sanchez Calles, Bruno Correia, Marcello Augusto Statello, Anthony Brundani, Michel Sevilha da Silva, Antônio Tondato Neto, Carlos Eduardo Mello e João Carlos Tadeu Guerreiro pelo apoio nas avaliações do experimento e laboratoriais e claro, pela amizade que cultivamos. Vocês foram parte essencial e insubstituível nessa caminhada, muito obrigada equipe!

Agradeço aos alunos da graduação em Engenharia Ambiental: Ana Beatriz Ribeiro Nobre, Bianca Soares de Souza, Carlos Gabriel Lopes do Nascimento, Michele Rodrigues Prestes e Jeferson Cardoso pela dedicação nas análises laboratoriais, pela disponibilidade de sempre ir ao campo, proatividade e claro pelas risadas, bate papo e amizade. Vocês foram um presente e tanto para o nosso grupo de pesquisa!

Agradeço as amigas que a pós-graduação me proporcionou: Viviane Cacefo, Caroline Honorato Rocha e Bruna Coelho Lima, obrigada pelas risadas nos horários de almoço, pelas parcerias em eventos e principalmente pelo apoio diário;

Agradeço as minhas amigas pessoais Carolina Cabral Silva, Claudia Ellen Vaz Martins, Carla Beatriz Silva, Denise dos Santos Viana, Érika de Oliveira Azevedo e Mariana Veiga Nogueira pelo apoio, momentos de desabafos, animação e otimismo nesse período de pós-graduação. Sou muito feliz e grata por ter pessoas como vocês ao meu redor!

Agradeço as amigas Mestre em Agronomia Daniele Peretti Bettio, Eliane Batista Viudes, Luanda Torquato Feba e Viviane Cacefo pelas discussões agronômicas, desabafos, memes, risadas, rodízios de pizza e principalmente pela amizade.

“Lembre-se da minha ordem: Seja forte e corajoso, porque eu, o Senhor, o seu Deus, estarei com você em qualquer lugar onde você for!” (Josué 1:9)

RESUMO

Solo cultivado com *Panicum* cv. Mombaça submetida a adubação mineral e em consórcio com leguminosas e soja no verão

O uso, manejo e conservação de solos tropicais tornou-se parâmetro essencial para alcançar altas produtividades das culturas, além de evitar a degradação do perfil e das propriedades do mesmo. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes manejos de nitrogênio sob a estruturação física, desenvolvimento de sistema radicular das culturas, fertilidade do solo e o cultivo da soja no verão. A localização da área experimental é definida pelas coordenadas geográficas: 22°16'59" Latitude Sul e 51°40'34" Longitude Oeste, em um Latossolo vermelho amarelo distrófico argiluvico, com 17% de argila na camada de 0-10 cm, sendo composto por 4 manejos, em delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo eles: Mombaça + N: Capim Mombaça (*Panicum maximum*) com adubação nitrogenada (200 kg de N ha⁻¹), Mombaça - N: Capim Mombaça solteiro, sem adubação nitrogenada, Mombaça + Guandu: Capim Mombaça consorciado com Guandu (*Cajanus cajan*) e Mombaça + Java: Capim Mombaça consorciado com Java (*Macrotyloma axillare*). Foi realizada a semeadura de Soja (*Glycine max*), na safra verão, em área total. Ao final de cada ciclo da cultura foi realizada a abertura de trincheiras, sendo uma em cada parcela experimental, para avaliação dos atributos físicos, químicos e do sistema radicular das culturas. A sucessão de culturas e o manejo de consórcios confirmaram que o solo, quando feito manejo sustentável a longo prazo, pode apresentar melhorias nos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Além disso, a presença de uma cultura diferente, como a soja, entre a renovação da pastagem, pode ser benéfica para a mesma. A adubação de N mineral realizada no sistema pode apresentar benefícios para todas as culturas instaladas, demonstrando retorno durante todo o ano, inclusive na safra de verão. O manejo de N mineral do sistema propiciou maior produtividade de massa verde da forrageira e também maior produtividade da soja, sendo a essa extremamente benéfica para o sistema. A modificação dos parâmetros físicos do perfil é percebida de forma gradativa, além também das modificações dos parâmetros químicos quando há um bom manejo do perfil.

Palavras-chave: sistema plantio direto, compactação do solo, sistema radicular, resistência a penetração, solos arenosos.

ABSTRACT

Soil cultivated with *Panicum* cv. Guinea grass submitted to mineral fertilization and intercropped with legumes and soybean in summer

The use, management and conservation of tropical soils has become an essential parameter to achieve high crop yields, in addition to avoiding the degradation of the profile and its properties. The objective of this work was to evaluate the effects of different nitrogen managements on physical structuring, crop root system development, soil fertility and summer soybean cultivation. The location of the experimental area is defined by the geographic coordinates: 22°16'59" South Latitude and 51°40'34" West Longitude, in a red yellow clayey dystrophic Latosol, with 17% clay in the 0-10 layer. cm, consisting of 4 managements, in a randomized block design with four treatments and four replications, as follows: Guinea grass + N: Guinea grass (*Panicum maximum*) with nitrogen fertilization (200 kg of N ha⁻¹), Guinea grass - N: Guinea grass alone, without nitrogen fertilization, Guinea grass + Guandu: Guinea grass intercropped with dwarf pigeonpea (*Cajanus cajan*) and Guinea grass + Java: Guinea grass intercropped with Java (*Macrotyloma axillare*). Soybean (*Glycine max*) was sowed in the summer crop, in the total area. At the end of each crop cycle, trenches were opened, one in each experimental plot, to evaluate the physical, chemical and root system attributes of the crops. The succession of crops and the management of consortia confirmed that the soil, when managed sustainably in the long term, can show improvements in physical, chemical and biological parameters. In addition, the presence of a different crop, such as soybean, between pasture renewal, can be beneficial for the pasture. The mineral N fertilization carried out in the system can provide benefits for all installed crops, showing a return throughout the year, including in the summer crop. The management of mineral N in the system provided greater productivity of green mass of the forage and also greater productivity of soybean, which was extremely beneficial for the system. The modification of the physical parameters of the profile is perceived gradually, in addition to the modifications of the chemical parameters when there is a good management of the profile.

Keywords: No-tillage, soil compaction, root system, penetration resistance, sandy soils.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Estrutura física e desenvolvimento radicular.....	14
2.2	Dinâmica da Água no Solo.....	16
2.3	Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	17
2.4	Suprimento de Nitrogênio no solo.....	18
2.4.1	Feijão Guandu (<i>Cajanus cajan</i>).....	19
2.4.2	Mombaça (<i>Panicum maximum</i>).....	19
2.5	Consociação gramíneas e leguminosas	20
	REFERÊNCIAS.....	21
3	CAPÍTULO 1.....	27
4	CAPÍTULO 2.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	ANEXO.....	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

Devido à alta demanda de produtividade agrícola, os solos tropicais estão cada vez mais sendo utilizados pelo agricultor na produção de alimentos, e junto com a utilização destes solos vem a necessidade do conhecimento do mesmo, desde as propriedades químicas e biológicas, como também as propriedades físicas e sua estruturação. A compreensão dos parâmetros físicos e o desenvolvimento radicular das culturas juntamente com a fertilidade é um desafio para os solos tropicais, já que por muito tempo eles foram negligenciados devido à falta de estudos e informações sobre suas reais propriedades naturais e como melhorá-las.

Em regiões como a do Oeste Paulista, com solos totalmente tropicais, vem tornando-se necessário o conhecimento de suas propriedades, devido a introdução na região de culturas de grande interesse agrícola como soja, algodão, milho, feijão, entre outras. Entretanto, por ser um solo que possui origem a partir do arenito caiuá, sendo assim altamente intemperizado e com baixa fertilidade natural, suas necessidades são distintas de solos argilosos, logo diferentes manejos de nitrogênio no solo precisam ser testados e o uso de consórcios e a implantação da integração lavoura-pecuária (ILP) sob o sistema plantio direto (SPD) vem sendo crucial para o sucesso da colheita, devido a manutenção de raízes do sistema durante todo o ano, a ciclagem de nutrientes presentes na palhada persistente no SPD e a presença de matéria orgânica no solo (MOS) (SILVA *et al.*, 2020).

O uso de consórcio entre gramíneas e leguminosas vem se tornando cada vez mais importante, pois além de manter o solo sempre vegetado e melhorar o uso eficiente do nitrogênio no solo, a presença de diferentes raízes aumenta as taxas de decomposição da MOS no perfil do solo, melhorando assim a porosidade e estrutura do solo. Sendo assim, o solo torna-se propício para receber culturas que demandam maior fertilidade do solo, como é o caso da soja, que para Cattelan e Dall'Agnol (2018), a cultura da soja precisa, além de boa fertilidade, eficiência tecnológica para produção da cultura em solos tropicais.

Neste contexto, buscou-se através do presente estudo, avaliar a estrutura física de solos arenosos submetidos a manejos com introdução de N via fertilizante mineral e fixação biológica de N através de consórcio com leguminosas, desenvolvimento do sistema radicular da forrageira e suas consequências no perfil de solos tropicais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estrutura física do solo e desenvolvimento radicular

O solo é uma das bases da produção agrícola, e seu comportamento é regido por um complexo conjunto de fatores, sendo eles físicos, químicos e biológicos. A estrutura do solo desempenha papel de destaque no crescimento de plantas e no controle da erosão, e conseqüentemente, na produção de alimentos e na conservação da água e do solo, sendo essencial cumprir adequadamente suas funções e ter qualidade. Os diferentes processos de manejo e práticas culturais influenciam o tamanho dos agregados do solo e seu estado de agregação, alterando a atividade biológica do solo e seu teor de matéria orgânica, sendo um dos principais agentes de agregação das partículas do solo, logo em solos tropicais é esperada variação do tamanho dos agregados e, por conseqüência, dos índices de agregação, por sua vez mostrando correlações altamente significativas com o C-orgânico no solo (MARASCA *et al.*, 2013; PORTELA *et al.*, 2010; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

Os diferentes sistemas de manejo dos solos podem causar modificações estruturais, resultando em maior ou menor compactação, interferindo na densidade do solo, porosidade, infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas, interferindo assim em uma série de propriedades físico-hídricas da camada superficial (TAVARES FILHO *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2004).

As raízes auxiliam na estruturação do solo, aproximando as partículas por meio do crescimento pelo espaço poroso e liberando exsudados radiculares que atuam como agentes cimentantes para a formação de macroagregados (CALONEGO, 2007).

A qualidade física do solo é sua capacidade de sustentar o pleno desenvolvimento das plantas, e seu manejo influencia diretamente nesta capacidade no campo, alterando a dinâmica do ar, da água e de solutos no solo (FUENTES-LLANILLO *et al.*, 2013; ABREU *et al.*, 2004). A melhoria e a manutenção da qualidade do solo são essenciais para alcançar a sustentabilidade agro-ambiental, e novas tecnologias de agricultura visando melhorias a longo prazo de conservação vem sendo amplamente divulgadas (GURA; MNKENI, 2019).

As alterações nas propriedades físicas do solo são inerentes ao seu uso, principalmente nas camadas superficiais. As alterações estruturais influenciam diretamente a distribuição, estabilidade e em especial a agregação do solo, que conseqüentemente afeta a porosidade e o processo dinâmico de água e ar no solo (CARDUCCI *et al.*, 2016).

A estruturação do solo e o crescimento do sistema radicular são interdependentes e o limiar de separação entre eles é complexo. Porém, uma avaliação minuciosa do espaço poroso do solo consegue-se caracterizar o meio de crescimento e desenvolvimento radicular (SILVA *et al.*, 2016)

O estudo da distribuição de raízes no solo é um método adequado para identificação de possíveis condições adversas ao seu desenvolvimento, bem como para compreensão dos diversos fenômenos de crescimento e desenvolvimento da parte aérea (MELLO IVO; MIELNICZUK, 1999; VASCONCELOS *et al.*, 2003).

O desenvolvimento radicular pode ser limitado pelas condições químicas do solo como solos ácidos, onde há ocorrência de Al trocável, e também afetado por propriedades físicas como solos compactados e com grande resistência mecânica do solo à penetração, constituindo assim barreiras ao uso do solo por raízes das culturas e alterando o potencial de produção das culturas, que variam de forma inversamente proporcional ao seu valor (GENRO JUNIOR *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2006; PETRY *et al.*, 2016).

A resistência do solo à penetração (RP) é um parâmetro físico que permite avaliar o comportamento do solo diante do manejo utilizado e estabelece o grau de compactação do solo, logo sua quantificação representa um importante indicativo da dinâmica de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Variando positivamente com a densidade do solo (Ds) e negativamente com o conteúdo de água do solo (BLAINSKI *et al.*, 2008; IMHOFF *et al.*, 2000; SILVEIRA *et al.*, 2010; CORADO NETO *et al.*, 2015). Para Giacomelli *et al.* (2017), os maiores rendimentos de grãos e desenvolvimento das culturas foram encontrados nos tratamentos com menor RP e maior macroporosidade na região do sistema radicular. Por isso, a quantificação da RP demonstra a dinâmica de crescimento e desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas cultivadas (SILVEIRA *et al.*, 2010).

Uma das formas de amenizar o problema da compactação é o uso de espécies com sistema radicular profundo e vigoroso (REINERT *et al.*, 2008).

A estabilidade dos agregados é um parâmetro relevante para avaliação da estrutura de um solo, e conseqüentemente, refletindo o quanto estável eles estão. A estruturação dos solos é de grande importância para a distribuição das raízes, para aeração, permeabilidade e infiltração de água no solo (BONI *et al.*, 1997).

O tamanho e o estado de agregação podem ser influenciados por distintos manejos e práticas culturais, que por consequência alteram o teor de matéria orgânica do solo e sua atividade microbiológica (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

2.2 Matéria orgânica do solo (MOS)

A matéria orgânica, formada por uma mistura heterogênea e complexa de resíduos animais e vegetais, é considerada um dos constituintes de maior importância do solo. Apesar de sua decomposição ser afetada por vários fatores, a textura do solo é um dos poucos citados em literatura, e é sabido que solos arenosos, em geral, apresentam-se comumente pobres em matéria orgânica (PAES *et al.*, 1996).

A matéria orgânica tem sido proposta como indicador-chave da qualidade do solo, considerando sua influência nos atributos essenciais para que o solo desempenhe suas funções com qualidade. Ela também é uma imprescindível fonte primária de nutrientes às plantas e influencia a infiltração, retenção de água, suscetibilidade à erosão e agregação do solo, processo este, condicionado à qualidade e quantidade de matéria orgânica aportada (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; ROSSI *et al.*, 2015).

Pelo maior acúmulo de matéria orgânica e menor movimentação do solo, o plantio direto mantém a agregação do solo semelhante à mata nativa e incremento do teor de C-orgânico, em relação ao convencional, que reduz a agregação e o acúmulo de carbono no solo independente da sucessão de culturas (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; SALES *et al.*, 2016).

Sistemas de manejo que proporcionem a adição de resíduos orgânicos ao solo podem provocar alterações em seus atributos físicos, favorecendo o crescimento do sistema radicular e a produtividade das culturas (VASCONCELOS *et al.*, 2010). O sistema plantio direto (SPD) tem como premissa a presença da cobertura do solo, entretanto, sua formação e manutenção tem sido um desafio nas condições edafoclimáticas das áreas tropicais (PIRES *et al.*, 2008).

2.3 Suprimento de nitrogênio para o solo

A adubação nitrogenada ideal deve ser definida conforme a necessidade da cultura, visando mínimo risco ambiental. Sendo assim, é necessária que a recomendação da adubação nitrogenada seja a mais precisa possível (AMADO *et al.*, 2001; FERNANDES; LIBARDI, 2009).

O uso racional da adubação nitrogenada é fundamental para aumentar a produtividade das culturas, assim como reduzir os custos de produção e os riscos de poluição ambiental. O uso de cultivares mais eficientes na absorção e translocação dos nutrientes estão sendo prioridade nos programas de melhoramento, além de cada vez mais solos pobres são incorporados ao processo de produção agrícola (PASSOS *et al.*, 2015).

As adubações mineral e orgânica se constituem como as principais fontes de N no solo, entretanto, pouco se sabe sobre sua interação no solo. O fracionamento de N é uma ferramenta importante para conhecer a dinâmica desse elemento no solo e sua disponibilidade para as plantas (SOUZA, 2016).

O conhecimento da dinâmica do N no solo pode facilitar na decisão da rotação de culturas empregada, e a substituição do uso de fertilizantes nitrogenados minerais por leguminosas além de promover aumento na produção de fitomassa e de grãos das culturas comerciais também pode ser importante estratégia na manutenção da qualidade ambiental (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2010; AMADO *et al.*, 2001).

A deficiência de N é o maior limitante do rendimento das culturas e uma das principais causas de degradação de pastagens cultivadas, e a reconstituição da fertilidade do solo é um dos caminhos para a recuperação da capacidade produtiva, logo um dos nutrientes que mais se destaca é o N, sendo o grande responsável pela recuperação de áreas degradadas e o nutriente requerido em maior quantidade pelas culturas agrícolas em geral (COSTA *et al.*, 2008; WEBER; MIELNICZUK, 2009).

A utilização de plantas de cobertura pode alterar a relação $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no solo, proporcionando maiores quantidades de NH_4^+ e podendo viabilizar o desenvolvimento de culturas que absorvem mais e preferem esta forma de N no solo. (MORO *et al.*, 2013; AMADO *et al.*, 2000).

As leguminosas possuem ampla distribuição geográfica e apresentam uma rica e importante diversidade, além de, em sua maior parte, proporcionarem simbiose com bactérias fixadoras de N, sendo a FBN a principal forma de entrada de N em ecossistemas naturais e em sistemas agrícolas (SANTANA, 2017; FREITAS *et al.*, 2015).

O N possui elevada instabilidade no ambiente, e seu estudo possibilita a recomendação adequada, redução dos custos e menor poluição ambiental. Os íons NH_4^+ e NO_3^- são resultantes do processo de mineralização do N orgânico no solo, sendo essas as formas predominantes de N mineral disponíveis às plantas. Sua proporção e distribuição no solo são variáveis, com flutuações diárias e oscilações sazonais ao longo do ano (SARTOR *et al.*, 2011; POLETTI *et al.*, 2008).

2.4 Consorciação de gramíneas e leguminosas

As pastagens são a base na alimentação dos ruminantes, pois é a forma mais econômica e prática de oferta de comida para os animais, e o N é o principal nutriente que auxilia na manutenção e incremento na produtividade de pasto, entretanto sua aplicação vem tornando-se onerosa para o produtor, principalmente na forma direta, que é na forma de fertilizante mineral, por isso é necessário explorar novas formas, como a simbiose de plantas com bactérias fixadoras de N atmosférico (BOURSCHEIDT *et al.*, 2019). Logo, o emprego da consorciação de leguminosas e forrageiras pode proporcionar economia de gastos com adubação nitrogenada e a diversificação no ecossistema de pastagens (TOSI *et al.*, 2015). Além disso, esse consórcio promove uma série de efeitos benéficos a todo o sistema de produção (BARRETA *et al.*, 2019). Logo, as características e qualidades dos solos vem sendo modificadas por intensivas práticas agropecuárias, a partir disso, a necessidade da adoção de técnicas e manejos sustentáveis (TERRA *et al.*, 2019).

As leguminosas forrageiras constituem uma das fontes importantes na disponibilidade de N, possibilitando incrementar sua disponibilidade no sistema solo-planta-animal. Assim, podem ser obtidos significativos aumentos na fixação de carbono ao solo, bem como reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa por unidade de produto produzido (BARCELLOS *et al.*, 2008).

Atualmente, dentre as leguminosas forrageiras lançadas no Brasil, encontra-se a *Macrotyloma axillare* cv. Java, indicada para consorciação com gramíneas e

também para cobertura vegetal na recuperação de áreas degradadas. A leguminosa híbrida Java mostra tolerância à acidez do solo, sendo de fácil propagação em solos ácidos (BONFIM-SILVA *et al.*, 2011).

2.4.1 Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)

Pertencente à família da Fabaceae o feijão guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] é uma espécie originária da Ásia. Essa leguminosa arbustiva de ciclo anual ou semiperene, teve fácil adaptação nos trópicos e subtropicais com finalidades alimentícias para humanos (grãos) e animais (forragens), mas sua utilização principal é a adubação verde (DANTAS *et al.*, 2021).

O guandu se destaca pelas suas características vantajosas de realizar fixação biológica de nitrogênio (FBN), e por seu sistema radicular profundo e ramificado, auxiliando na descompactação do solo, e na captação de água e nutrientes em profundidade. Além disso, é utilizado em consórcios e sistemas Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF), ora como adubo verde e alternativa de alimentação para os bovinos. Possuindo 15% mais proteína que a braquiária, sua consorciação com gramíneas, proporciona um aumento no teor de proteína fornecida ao gado (VELOSO *et al.*, 2006; GUIMARÃES *et al.*, 2017).

2.4.2 Mombaça (*Panicum maximum*)

O *Panicum maximum* (capim mombaça), é altamente responsivo a adubação nitrogenada e palatável para o gado em todo seu ciclo de desenvolvimento. A mombaça pode ser manejada como alimentação bovina ou cobertura vegetal (EYOH *et al.*, 2019). Como cobertura proporciona altos níveis de matéria orgânica, contribuindo assim para o armazenamento de água, na ciclagem de nutrientes, em especial a reposição de N e Carbono (C), na estruturação do solo, através do seu sistema radicular e reduz incidência de ervas daninhas, quebrando ciclos de pragas e doenças (VILELA *et al.*, 2011).

O capim mombaça se destaca pelo seu potencial na produção de matéria seca em ambientes tropicais e subtropicais, atingindo uma produção anual em torno de 33 t ha⁻¹, portanto, a fertilização é de extrema importância para o seu desenvolvimento (GALINDO *et al.*, 2017).

2.5 Cultura da Soja

A soja é uma das culturas mais importantes do mundo (OLIVEIRA *et al.*, 2017), e apresenta extrema importância para a economia do agronegócio brasileiro (SANTOS *et al.*, 2019).

A produção mundial de soja na safra 2019-2020 foi em torno de 337,3 milhões de toneladas (USDA, 2020). Na safra 2019-2020, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos, e se tornou o maior produtor de soja com uma área de 36,9 milhões de hectares (ha) e um rendimento médio de grãos de 3,4 Mg ha⁻¹, sendo o principal produtor em regiões de clima tropical (CONAB, 2020).

A soja vem mostrando-se altamente rentável nos últimos anos, e isso é consequência, dentre outros fatores, as práticas de adubação equilibradas de seus elementos essenciais (PEREIRA *et al.*, 2016). Logo, práticas para aumento do rendimento de grãos devem ser consideradas (SANTOS *et al.*, 2019). Como o uso de fertilizantes em proporções apropriadas para manter ou elevar a produtividade da cultura da soja, acatando parâmetros econômicos e, simultaneamente conservando os solos (PRIMIERY; SANTOS, 2017).

O N é um nutriente muito requerido pela cultura da soja, pois é responsável por seu crescimento e produção de novas células e tecidos (MARCON *et al.*, 2017). Atualmente, práticas agrícolas sustentáveis que contribuam para maximizar a produtividade da soja nos diversos sistemas de produção são extremamente importantes. Os inoculantes são bactérias capazes de assimilar o N atmosférico, e transformá-lo em amônio e transferir para a planta, sendo este o processo denominado Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), e assim eliminando a necessidade da utilização de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para as práticas sustentáveis (KORBER *et al.*, 2017; SOUZA; BENEDUZI, 2016). Atualmente, o uso de inoculantes é a principal forma de suprimento de N da cultura da soja no Brasil (PINTO *et al.*, 2020). Uma das recomendações para esse manejo sustentável com uso de inoculantes é a utilização do *Bradyrhizobium* na soja para a realização da FBN (ZAGO *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto, **Rev Bras Ci Solo**, v.28, p.519-531, 2004.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Rev Bras Ci Solo**, v.25, p.189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. C. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.179-189, 2000.
- BARCELLOS, A. O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; 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 Zoot.**, v.37, n. spe, jul. 2008.
- BARRETA, D. A.; DANIELI, B.; SCHOGOR, A. L.; A sustentabilidade na adoção da consorciação de pastagens e sua influência nas propriedades do leite. **Ci Animal**, v.29, n.3, p.72-86, 2019.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F.; Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq Agropec Bras.**, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.
- BONFÁ, C. S.; GUIMARÃES, C. G.; EVANGELISTA, A. R.; RIBEIRO, K. G.; CASTRO, G. H. F.; Patagem de Capim xaraés consorciada com estilosantes campo grande sob diferentes doses de fósforo. **Braz J Develop.**, v.6, n.8, p.60263-60271, aug, 2020.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L.; PEREIRA, M. T. J.; GOLÇANLVES, J. M.; Leguminosa híbrida Java submetida à calagem em latossolo vermelho do cerrado. **Enciclop Biosfera**, v.7, n.13, 2011.
- BONI, N. R.; CARVALHO, A. R. X.; GONÇALVES, C. P.; JAVAREZ JÚNIOR, A.; Análise crítica de um método de avaliação da estabilidade de agregados dos solos agrícolas. **Sínteses Rev Eletr Simtec**, v.1, 1997.
<http://dx.doi.org/10.20396/sinteses.v0i1.9006>
- BOURSCHEIDT, M. L. B.; PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. H.; ZANETTE, M. C.; DEVENS, J.; Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consorcio com amendoim forrageiro. **Scie Electr Arch.**, v.12, jun. 2019.
- CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado**. 2007. 125f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CARDUCCI, C. E.; VITORINO, A. C. T.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A. Aggregates morphometry in a latossol (Oxisol) under different soil management systems. **SEMINA Ci Agr.**, v.37, n.1, p. 33-42, jan/fev, 2016.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.765-771, 2006.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras, **Rev Bras Ci Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme uso de corretivos da acidez. **Pesq Agropec Bras**, v.46, n.12, dez. 2011.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A.; The rapid soybean growth in Brazil. **EDP Sci.**, v.25, D102, 2018. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E.; Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Rev Bras Ci Solo**, 2005.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial da resistência à penetração em neossolo litólico degradado. **Rev Bras Ci Solo**, v.39, p.1353-1361, 2015.

COSTA, K A P; FAQUIN, V; OLIVEIRA, I P; RODRIGUES, C; SEVERIANO, E C; Doses de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I – alterações nas características químicas do solo. **Rev Bras Ci Solo**, v.32, n.4, p.1591-1599, 2008.

D EYOH, G.; UDO, M. D.; EDET, C. P. Growth performance and carcass characteristics of West African dwarf bucks fed different forms of processed guinea grass (*Panicum maximum*). **Growth**, v.7, n.2, 2019.

DANTAS, S.M.; RODRIGUES, V.P.; NEVES, R.S.; BARBOSA, R.P.; MATSUNAGA, W.K. Análise bromatológica de feijá guandu cultivado em sequeiro no semiárido para produção de forragem. **Rev Bras Eng Biossist.**, v.15, n.3, p.381-390, 2021.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L.; Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho com diferentes doses de nitrogênio. **Rev Bras Ci Solo**, v.33, p.1163-1173, 2009.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M.; Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num latossolo roxo. **Rev Bras Ci Solo**, v.24, p.487-493, 2000.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S.; SILVA, A. F. SOUZA, R. J. C.; Fixação biológica de nitrogênio no semiárido brasileiro. **Rev Bras Geo Fís.**, v.08, n.(esp.), p.585-597, 2015.

FUENTES- LLANILLO, R.; GUIMARÃES M. F.; TAVARES FILHO, J. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Rev Bras Eng Agríc Amb.**, v.17, n.5, p.524-530, 2013.

GALINDO, F.S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M.G.Z. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in Mombasa guineagrass (*Panicum maximum* cv. mombasa) at dry and rainy seasons. **Austr J Crop Sci.**, v.11, n.12, p.1657-1664, 2017

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Rev Bras Ci Solo**, v.28, n.3, 2004.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; OLIVEIRA, M. L.; MARTIN, T. N.; TELÓ, G. M; DONATO, G.; SILVA, M. F. Physical properties and crop management for corn in na Albaqualf. **Rev Bras Ci Solo**, v.41, p.e0160237, 2017.

GUIMARÃES. F. S.; CIAPPINA, A. L.; ANJOS, R. A. R.; SILVA, A.; PELÁ, A. Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura-pecuária. **Rev Agr Neotrop.**, v.4, p.22-27, 2017.

GURA, I.; MNKENI P. N. S. Crop rotation and residue management effects under no till on the soil quality of Haplic Cambisol in Alice, Eastern Cape, South Africa, **Geoderma**, v.337, p.927-934, mar. 2019.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesq Agropec Bras.**, v.35, n.7, p.1493-1500, jul. 2000.

KORBER, A. H. C.; PINTO, L. P.; PIVETTA, L. A.; ALBRECHT L. P.; FRIGO, K. D. A.; Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. **Rev Agr Neotrop.**, v.4, n.4, p.38-45, out./dez. 2017.

MARASCA, I.; GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H.; BALLARIN, A. W.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P.; Propriedades físicas de um nitossolo vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. **Rev Bras Eng Agríc Amb.**, v.17, n.11, p.1160-1166, 2013.

MARCON, E. C.; ROMIO, S. C.; MACCARI, V. M.; KLEIN, C.; LÁJUS, C. R.; Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Rev Thema**, v.14, n.2, p.298-308, 2017.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O.; Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Rev Bras Ci Solo**, v.35, p.197-1206, 2011.

MELLO, I. V. O.; MIELNICZUL, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Rev Bras Ci Solo**, v.23, p.135-243, 1999.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesq Agropec Trop.**, v.43, n.4, p.424-435, out/dez, 2013.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Rev Bras Ci Solo**, v.25, p.531-538, 2001.

OLIVEIRA, F. C.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; SILVA, L. M.; VIEIRA, B. C. Diferentes doses e épocas de aplicação de zinco na cultura da soja. **Rev Agr Neotrop.**, v.4, (supl. 1), p.28-35, dez. 2017.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Rev Bras Ci Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

PAES, J. M. V.; ANDREOLA, F.; BRITO, C. H.; LOURES, E. G. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Rev Ceres**, v.43, n.249, p.674-683, 1996.

PASSOS, N. G.; SOUSA, S. A.; LOPES, M. B. S.; VARRAVALLO, M. A.; OLIVEIRA, T. C.; FIDELIS, R. R. Eficiência no uso de nitrogênio em genótipos de arroz em solos de várzea tropical do Estado do Tocantins. **Rev Agro Amb On-line**, v.9, n.1, p.8-16, jan.-mar. 2015.

PEREIRA, C. S.; FREITAS, A. A.; CHAPLA, M. C.; LANGE, A. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. **GI Sci Technol.**, v.09, n.1, p.22-32, jan./abr. 2016.

PETRY, H. B.; MAZURANA, M.; MARODIN, G. A. B.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C.; SCHAWARZ, S. F. Root distribution of Peach rootstocks affected by soil compaction and acidity. **Rev Bras Ci Solo**, v.40, e0150135, 2016.

PINTO, A. C.; ZEMBENEDETTI, R.; OLIVEIRA, A. J. C.; PEREIRA, C. S.; SILVA, A. A. Aplicação foliar de nitrogênio em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja. **Nativa: Pesq Agr Amb.**, v.8, n.3, p.376-380, mai./jun. 2020.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BOER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Rev Ceres**, mar./abr. 2008.

POLETTO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Rev Bras Ci Solo**, v.32, n.4, p.1619-1626, 2008.

- PORTELA, J. C.; COGO, N. P.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J. P.; PORTZ, G. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Rev Bras Ci Solo**, v.34, p.1353-1364, 2010.
- PRIMIERY, B. F.; SANTOS, R. F. Solo, adubação e nutrição da cultura da soja (*Glycine max L.*), Edição especial: II seminário de engenharia de energia na agricultura. **Acta Iguazu**, v.6, n.5, p.80-91, 2017.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Rev Bras Ci Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, A. M.; LIMA, S. S.; BERBARA, R. L. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com oleráceas em microbacia hidrográfica, após desastre ambiental. **Rev Bras Ci Solo**, v.39, p.1764-1775, 2015.
- SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F.; Qualidade física de um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido, **Rev Ci Agron.**, v.47, n.3, p.429-438, jul.-set. 2016.
- SANTANA, J. A., **Avaliação do potencial fixador de nitrogênio de genótipos de Desmanthus**. 2017. 62f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.
- SANTOS, M.; CERUTTI, P. H.; WILLE, C. L. Adubação foliar com boro em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Rev Ci Rural**, v.21, n.1, 2019.
- SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; PITTA, C. S. R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of na alexander grass pasture. **Rev Bras Ci Solo**, v.35, p.899-906, 2011.
- SILVA, E. A.; SILVA, S. H. G.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E. Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **Afr J Agr Res.**, v.11, n.49, p.4970-4978, dec. 2016.
- SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; DOS SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Res.**, v.258, p.107947, 2020.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Rev Bras Ci Solo**, v.34, p.659-667, 2010.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema de plantio direto, **Bragantia**, v.69, n.4, p.923-936, 2010.

SOUZA, G. K.; BENEDUZI, A. Fixação Biológica de Nitrogênio em soja no Brasil: Qualidade dos produtos inoculantes. In: SEMANA CIENTÍFICA UNILASALLE – SEFIC 2016.,12. **Anais [...]**. Canoas/ RS – 17 a 21 de outubro de 2016.

SOUZA, J. R. M. **Formas de nitrogênio no solo e produtividade do meloeiro em resposta à adubação mineral e orgânica**. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Rev Bras Ci Solo**, v.25, p.724-730, 2001.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V.; SILVA, N. C. D. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Rev Ci Agr.**, v.42, n.2, p.305-313, 2019. <https://doi.org/10.19084/rca.16016>

VALCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Rev Bras Ci Solo**, v.34, p.209-216, 2010.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Rev Bras Ci Solo**, v.27, p.849-858, 2003.

VELOSO, C. M.; RODRIGUEZ, N. M.; CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. P.; MOURÃO, G. B.; GONÇALVES, L. C.; SAMPAIO, I. B. M. Degradabilidade ruminal da matéria seca e da proteína bruta de folhas e folíolos de forrageiras tropicais. **Rev Bras Zoot.**, v.35, n.2, p.613-617. 2006

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Rev Bras Ci Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

VILELA, L. G. B.; MARTHA JUNIOR, M. C. M.; MACEDO, R. L.; MARCHÃO, R.; GUIMARÃES JÚNIOR, K.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1127–38, 2011.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Rev Bras Ci Solo**, v.33, n.2, p.429-437, 2009.

ZAGO, L. F.; LIMA, C. R.; CRUZ, R. M. S.; ALBERTON, O. Inoculação de diferentes doses de *Bradyrhizobium* por cobertura e seu efeito na cultura da soja. **Arq Ci Vet Zool.**, v.21, n.2, p.65-69, abr./jun. 2018.

3 CAPÍTULO 1

SISTEMAS DE MANEJO NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR DO *Panicum maximum* cv. MOMBAÇA, NA ESTRUTURAÇÃO FÍSICA E NA FERTILIDADE DE SOLO EM ÁREA DE ARENITO CAIUÁ

RESUMO

Sistemas de manejo, quando bem conduzidos, podem fazer toda a diferença devido a presença de diferentes raízes no perfil realizando ciclagem de nutrientes e melhorando a estruturação física do perfil, O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da Mombaça submetida a diferentes adubações nitrogenadas e sua melhoria na estruturação e fertilidade do solo, antes e após a implantação da cultura da soja. A localização da área experimental é definida pelas coordenadas geográficas: 22°16'59" Latitude Sul e 51°40'34" Longitude Oeste, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Argiluvico com 17% de argila na camada de 0-10 cm. O experimento foi composto por quatro tratamentos e quatro repetições, com delineamento em blocos casualizados com os manejos de Mombaça com adubação nitrogenada mineral, Mombaça solteira sem adubação nitrogenada mineral, Mombaça consorciada com Guandu sem adubação nitrogenada mineral e Mombaça consorciada com Java sem adubação nitrogenada mineral, e na safra de verão foi implantada a cultura da soja em toda área experimental. O experimento foi avaliado por 3 anos agrícolas. Antes da dessecação da pastagem, foram abertas 16 trincheiras para coleta de amostras de raízes para determinação de parâmetros radiculares, agregados e amostras deformadas para avaliação da fertilidade do solo. Os parâmetros de volume, área superficial e comprimento de raízes foram maiores nas camadas superficiais no ano de 2017. A biomassa seca de raízes foi maior na camada de 0-5 cm quando a Mombaça foi adubada com N. Os parâmetros diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) reduziram com o decorrer dos anos em todas as profundidades avaliadas. Já o diâmetro médio geométrico (DMG) foi maior em 2018. Os teores de Ca, NH_4^+ , NO_3^- e C total não diferiram entre si em todo perfil, até 100 cm. As classes de tamanho de agregados não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Concluindo assim que a modificação de perfil do solo é demorada, mesmo quando o manejo é feito sem intervalos e sendo bem manejado.

Palavras-Chave: Qualidade física de solo, Enxofre, Nitrogênio, Carbono Orgânico total, Raízes.

ABSTRACT

Management systems, when well conducted, can make all the difference due to the presence of different roots in the profile, performing nutrient cycling and improving the physical structure of the profile. different nitrogen fertilizations and their improvement in soil structuring and fertility, before and after the implantation of the

soybean crop. The location of the experimental area is defined by the geographic coordinates: 22°16'59" South Latitude and 51°40'34" West Longitude, in a Red Yellow Dystrophic Argiluvic Latosol with 17% clay in the 0-10 cm layer. The experiment consisted of four treatments and four replications, with a randomized block design with the managements of Guinea grass with mineral nitrogen fertilization, single Guinea grass without mineral nitrogen fertilization, Guinea grass intercropped with dwarf pigeonpea without mineral nitrogen fertilization and Guinea grass intercropped with Java without mineral nitrogen fertilization. , and in the summer crop the soybean crop was implanted in the entire experimental area. The experiment was evaluated for 3 agricultural years. Before pasture desiccation, 16 trenches were opened to collect samples of roots to determine root parameters, aggregates and deformed samples to evaluate soil fertility. The volume, surface area and root length parameters were higher in the surface layers in 2017. The dry root biomass was higher in the 0-5 cm layer when Mombasa was fertilized with N. The parameters weighted average diameter (WMD) and aggregate stability index (IEA) decreased over the years at all evaluated depths. The geometric mean diameter (DMG) was higher in 2018. The contents of Ca, NH_4^+ , NO_3^- and total C did not differ from each other in the entire profile, up to 100 cm. The aggregate size classes did not show significant differences between treatments. In conclusion, the modification of the soil profile is time consuming, even when the management is done without intervals and being well managed.

Key-words: Physical soil quality, Sulfur, Nitrogen, Total organic carbon, Roots.

1 INTRODUÇÃO

O estudo do sistema radicular é essencial para o entendimento do desenvolvimento das plantas e da estruturação do perfil dos solos. O sistema radicular, além de ser fundamental para a nutrição mineral e do desenvolvimento das plantas, é imprescindível para a melhoria da agregação e estruturação física, pois a exsudação de substâncias químicas consegue descompactar e melhorar a agregação dos solos, tornando o ambiente propício ao cultivo com melhorias da qualidade física, química e biológica dos solos.

Além da melhoria na qualidade do solo, o sistema radicular presente nos sistemas de cultivo implantados em solos arenosos são indispensáveis para aumento do reservatório de água, nutrientes e matéria orgânica em todo perfil, fato observado por Gist e Smith (1948), que afirmam haver um efeito direto das raízes na construção da matéria orgânica e também em propriedades físicas do solo como estruturação, permeabilidade e resistência à erosão. Jiang *et al.* (2018) afirmaram

que as propriedades físicas do solo, a infiltração e o comportamento do fluxo de água estão intimamente associados à morfologia radicular.

O manejo do solo é um dos fatores que devem ser levados em consideração, pois além de ser importante para a sustentabilidade da agricultura, o crescimento e desenvolvimento das raízes é amplamente afetado pelos manejos (DAL FERRO *et al.*, 2014). Os manejos que apresentam a presença de raízes diversificadas, como é o caso da Integração Lavoura-Pecuária que possui sucessão de culturas com a entrada de uma cultura diferente na safra de verão, como o caso da soja, e os consórcios entre gramíneas e leguminosas, traz benefícios para manutenção dos ciclos dos nutrientes no solo e seu reaproveitamento nas próximas culturas do sistema, diminuindo assim gastos excessivos com adubação.

Outro fator preponderante é a estruturação dos solos, ou seja, a diversificação de diâmetros e comprimento de raízes, onde raízes de menor diâmetro conseguem, aos poucos, descompactar grandes massas de solo, tornando importante a presença de todos os diâmetros de raízes no perfil. Além disso, as leguminosas presentes no sistema, como a soja e as culturas de cobertura, melhoram a ciclagem do nitrogênio (N) no perfil, aumentando a disponibilidade de suas formas e diminuindo sua lixiviação, além da diversificação da presença das bactérias responsáveis pelo seu ciclo, e posteriormente melhorando a fixação biológica do nutriente para os próximos ciclos.

Na presente pesquisa, investigou-se a hipótese de que o consórcio entre gramíneas e leguminosas seria uma forma viável de melhoria do sistema de cultivo, da fertilidade do solo e dos teores de N disponíveis quando comparado a adubação mineral e como consequência, melhorias no desenvolvimento do sistema radicular das culturas seguintes e melhorias na estruturação de solo arenosos e aporte de matéria orgânica.

O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular da Mombaça submetido a manejos de aporte de nitrogênio e sua melhoria na estruturação e fertilidade do solo, antes e após a implantação da cultura da soja como safra de verão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e manejos

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP, com as seguintes coordenadas geográficas: 22°16'59" Latitude Sul e 51°40'34" Longitude Oeste, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Argiluvico, com 17% de argila na camada de 0-10 cm. Os índices pluviométricos foram dessemelhantes em cada ano agrícola avaliado, conforme Figura 1.

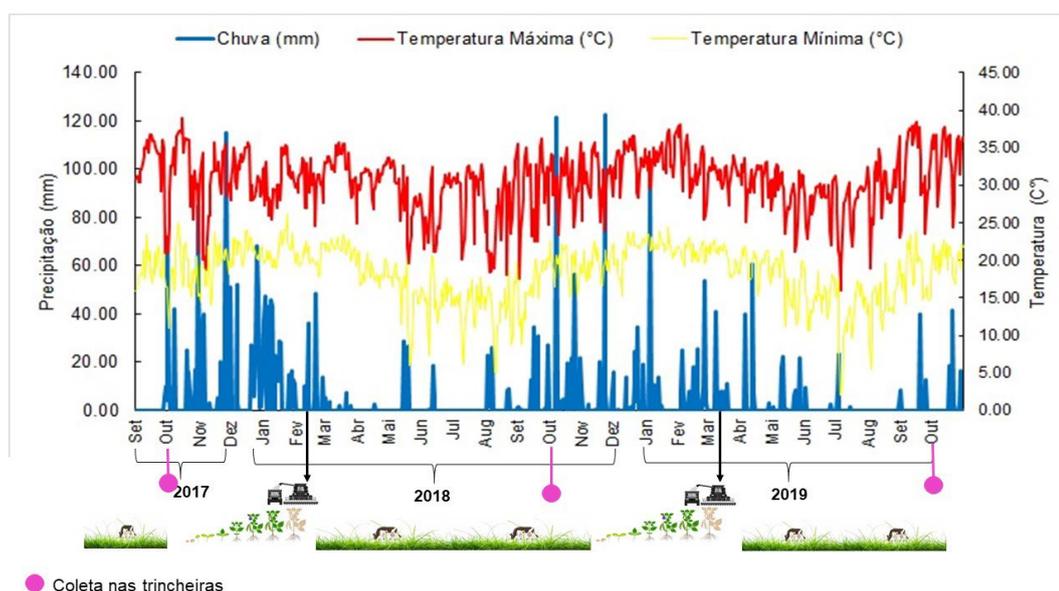


Figura 1. Esquema de índices de pluviosidade e temperatura da área experimental durante os anos avaliação de 2017, 2018 e 2019.

A área experimental foi estruturada em março de 2015, sendo definido os seguintes manejos: *Panicum maximum* cv. Mombaça solteira com adubação nitrogenada de 200 kg ha⁻¹ (Mombaça + N), *Panicum maximum* cv. Mombaça solteira sem adubação nitrogenada mineral (Mombaça – N), *Panicum maximum* cv. Mombaça consorciado com Guandu (*Cajanus cajan*) sem adubação nitrogenada mineral (Figura 1 do anexo) (Mombaça + Guandu), e *Panicum maximum* cv. Mombaça consorciado com Java (*Macrotyloma axillare*) sem adubação nitrogenada mineral (Figura 2 do anexo) (Mombaça + Java), sendo um total de 4 manejos e 4 repetições com delineamento experimental em blocos casualizados.

Após a estruturação do experimento, houve a introdução do gado (Figura 3 do anexo), deixando-os no piquete até o rebaixamento do capim a 30 cm de altura. Nos manejos indicados, houve a adubação mineral de N com fonte de Ureia, que foi parcelada durante o período chuvoso, e dessa forma a pastagem foi conduzida durante os anos de 2015, 2016 e 2017. Em outubro de 2017, após a dessecação da pastagem, foi realizada aplicação de 500 kg ha⁻¹ de gesso agrícola em área total, e posteriormente, ocorreu a primeira semeadura da soja no sistema (Figura 1), sendo utilizada a Soja TMG-7062 IPRO®, com sementes já tratadas, e Profol com Co-Mo com dosagem de 200 mL para 1000 kg de sementes (Figura 7 do anexo), com stand de 13,8 plantas m⁻¹, com espaçamento entre linhas 0,45 m.

Durante 120 dias houve o manejo e tratos culturais da soja na área experimental (Figura 8 do anexo), e em fevereiro de 2018, houve a colheita, e em seguida houve a semeadura da pastagem e das leguminosas forrageiras, e também a adubação nitrogenada conforme os manejos estipulados. Quando o pasto estava estabelecido, novamente houve a introdução do gado para pastejo, sempre seguindo à altura de 30 cm da pastagem.

Novamente, em outubro de 2018, houve uma nova dessecação da área, conforme esquema da Figura 1, e em novembro de 2018, houve a semeadura da soja, sendo o cultivar TMG® 7062 PRO®, tratada com Profol - CoMo, com 14 sementes por metro linear. Durante o período em que a soja esteve na área experimental, ocorreu os manejos e tratos culturais, e em março de 2019 foi realizada a colheita. Na sequência, ocorreu a nova semeadura da pastagem e leguminosas forrageiras, que permaneceu na área experimental até o mês de outubro do mesmo ano.

2.2 Avaliações realizadas

Durante todo esse período, antes das dessecações da pastagem e dos consórcios, houve avaliações na área experimental. Em outubro de cada ano citado, foram abertas 16 trincheiras (Figura 4 do anexo), sendo uma em cada parcela experimental. Cada trincheira possuía as seguintes dimensões 1,20 m (P) x 1,20 m (C) x 0,90 m (L), e nelas foram realizadas avaliações como a biometria do sistema radicular da pastagem, que consiste na retirada de amostras de raízes em amostradores de ferro do tipo monólitos (Figura 5 do anexo), na dimensão de 10 x

10 x 10 cm nas seguintes profundidades: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70; 70-80; 80-90 e 90-100 cm, sendo retirados no centro de uma das paredes da trincheira. Após isso, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Física e Química de Solos da UNOESTE, onde foram lavadas com água corrente, e posteriormente, armazenadas em álcool 30% e mantidas sob refrigeração (± 10 °C).

As amostras de raízes foram utilizadas para obtenção dos parâmetros biométricos no Sistema de Análise de Fibras e Raízes - SAFIRA®, que tem o objetivo de possibilitar medidas de área superficial ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$) e comprimento (mm cm^3) das fibras e raízes, por classes de diâmetros, através da leitura de imagens pelo software, eliminando assim grande parte da subjetividade encontrada nos métodos de perfil e melhorando a precisão na análise (EMBRAPA, 2008).

Após estas leituras, as amostras foram secas em estufa a ± 60 °C por 48 horas, para quantificação da biomassa seca radicular (g cm^3). Na face contrária onde foram coletadas as raízes na trincheira, houve a coleta de agregados do solo (Figura 10 do anexo), nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, conforme metodologia da EMBRAPA (1997). Após a coleta, essas amostras foram secas ao ar livre, e posteriormente, tamisadas num jogo de duas peneiras com malhas de 4,76 e 2,00 mm, preservando-se os agregados retidos na peneira com malha de 2,00 mm, sendo estes encaminhados para o agitador composto por 5 peneiras (Figura 11 do anexo) com as seguintes malhas: 2,00 mm, 1,00 mm; 500 μm , 250 μm . Considerando-se a fração de solo retida no fundo coletor, abaixo da última peneira (250 μm), contabilizando cinco classes de tamanho de agregados.

Além de avaliar as classes de agregados, os valores obtidos permitiram calcular também o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), e o índice de estabilidade do solo (IEA) (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

Após a coleta das amostras de solo para as análises física e de raízes, foram coletadas amostras deformadas de solo para análises químicas, com a finalidade de quantificação do teor de carbono total do solo e também de Alumínio (Al^{3+}) presente no perfil, que em 2019, o Al^{3+} apresentou as seguintes médias nas profundidades avaliadas, sendo em 0-5 cm com $0,15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em 05-10 cm com $0,09 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; em 10-20 cm com $0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em 20-40 cm $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; em 40-60 cm com $1,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; em 60-80 cm $3,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e em 80-100 cm com $4,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e todas as análises foram realizadas conforme as metodologias

descritas em Raij *et al.* (2001) e também para análises de N inorgânico no solo conforme metodologia descrita em Cantarella e Trivellin (2001), sendo ambas avaliadas na profundidade de 0 a 100 cm. Com as amostras deformadas também foi realizada a análise de granulometria (EMBRAPA, 1997) da área experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Análise granulométrica, da área experimental, 2017

Profundidade (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
0-10	773	48	179	Média Arenosa
10-20	763	68	169	Média Arenosa
20-40	736	41	223	Média Arenosa
40-60	707	63	230	Média Arenosa
60-80	695	55	250	Média Arenosa
80-100	697	56	247	Média Arenosa

Ao final das avaliações, os resultados foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se pacote estatístico SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o volume de raízes não houve diferença entre os manejos em nenhum dos anos agrícolas avaliados (Figura 2). Entretanto, observa-se que, no primeiro ano, outubro de 2017 (Figura 2A), antes da entrada da soja na área experimental, há um maior volume de raízes presente no solo em todos os manejos avaliados. Isso se dá por ser uma pastagem que já estava implantada há três anos e por consequência houve um maior desenvolvimento e expansão por todo perfil do solo, demonstrando assim que uma pastagem recém implantada possui um sistema radicular com menor volume. O decréscimo do volume em profundidade em todos os manejos e anos avaliados (Figura 2A, Figura 2B e Figura 2C) é um comportamento padrão do desenvolvimento de raízes.

O manejo Mombaça + Java apresentou valores de volume numericamente superiores em 2017 (Figura 2A), a presença de duas espécies diferentes aumentou o volume de raízes na camada superior do solo, após a renovação da pastagem, em

2018 (Figura 2B), mesmo com sistemas radiculares distintos, não houve destaques em nenhum dos manejos avaliados, e em 2019 (Figura 2C), observa-se um volume radicular, numericamente maior, no manejo Mombaça + Guandu, confirmando assim que, quando há a presença de leguminosas e forrageiras o volume radicular é maior e uma maior área do solo é explorada.

Outro fator importante é que a rotação de culturas aliada ao consórcio entre gramíneas e leguminosas é muito importante, pois diferentes tipos de raízes presentes no sistema ocasionam aumento da matéria orgânica, além de uma melhor estruturação física desse ambiente, pois cada tipo de raiz proporciona diferença na união de partículas e formação de agregados do solo.

Fato que corrobora com Sher *et al.* (2020), que também concluíram que o sistema radicular de gramíneas forrageiras possui alto poder de melhoria da estrutura física dos solos, e as raízes profundas podem influenciar positivamente as condições químicas e físicas do solo, melhorando assim características do solo como retenção de água e estabilidade de agregados, e como consequência aumento da persistência do carbono no solo.

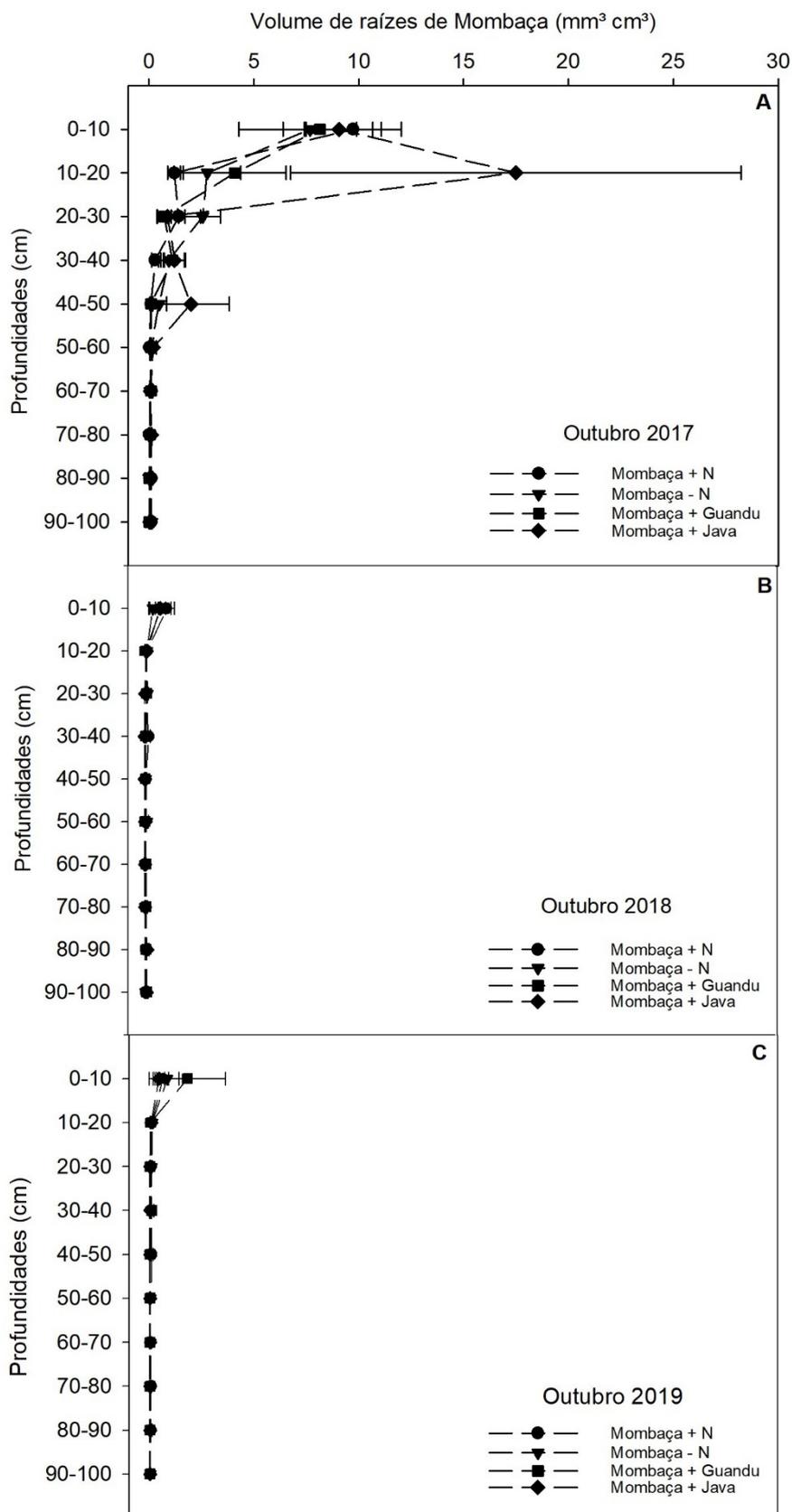


Figura 2. Volume de raízes de Mombaça ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$) nos anos agrícolas de 2017(A), 2018(B) e 2019 (C). As barras indicam desvio padrão.

Não houve diferença entre os manejos avaliados no parâmetro de área superficial de raízes nos três anos agrícola avaliados (Figura 3), sendo representado por toda raiz presente em determinada camada de solo, independente do seu diâmetro e comprimento linear. Devido a isso, é um parâmetro muito importante, pois a presença de diferentes raízes consegue melhorar características físicas do perfil, como agregação e densidade, além da maior capacidade de absorção de nutrientes pela maior presença de raízes. O conhecimento da área superficial das raízes no sistema agrega mais informações para os estudos da dinâmica radicular e para o potencial de absorção de nutrientes (KOKKO *et al.*, 1993).

Em 2017, houve maior área superficial (Figura 3A), principalmente nos manejos consorciados como Mombaça + Java e Mombaça + Guandu, provavelmente devido a pastagem estar estabelecida e manejada na área por três anos, indicando assim que o manejo contínuo do pasto pode trazer benefícios para o sistema radicular da pastagem. Já em 2018 (Figura 3B), após a renovação da pastagem no sistema, a área superficial de raízes da Mombaça em todos os manejos avaliados foram menores, além de se tratar de uma pastagem recém implantada, o regime de chuvas também pode ter contribuído para o desenvolvimento menor das raízes (Figura 1), e por isso apresentou um desenvolvimento diferente. Os dados coletados em 2019 mostraram maior área superficial de raízes de Mombaça na camada 0-10 cm do perfil (Figura 3C), e apesar de não apresentar diferenças estatísticas, destaca-se o manejo Mombaça + Guandu que apresentou maior área superficial de raízes. Este resultado pode estar diretamente ligado à presença de dois sistemas radiculares diferentes, o fasciculado da forrageira e o pivotante da leguminosa na mesma parcela experimental. O desenvolvimento do sistema radicular é maior no período de verão, e além do período de inverno, o ano agrícola apresentou uma pluviosidade atípica, com um severo déficit hídrico durante praticamente todo o período de manejo dos consórcios e pastagem (Figura 1), indicando assim uma diminuição das raízes em superfície, podendo indicar assim que a pastagem, por ser uma espécie rústica, consegue atravessar períodos de grande estresse hídrico, além de tentar minimizar perdas por estresses. Para melhorar o desenvolvimento radicular em profundidade é necessário que a pastagem permaneça no sistema um período mais longo e manejo adequado do sistema.

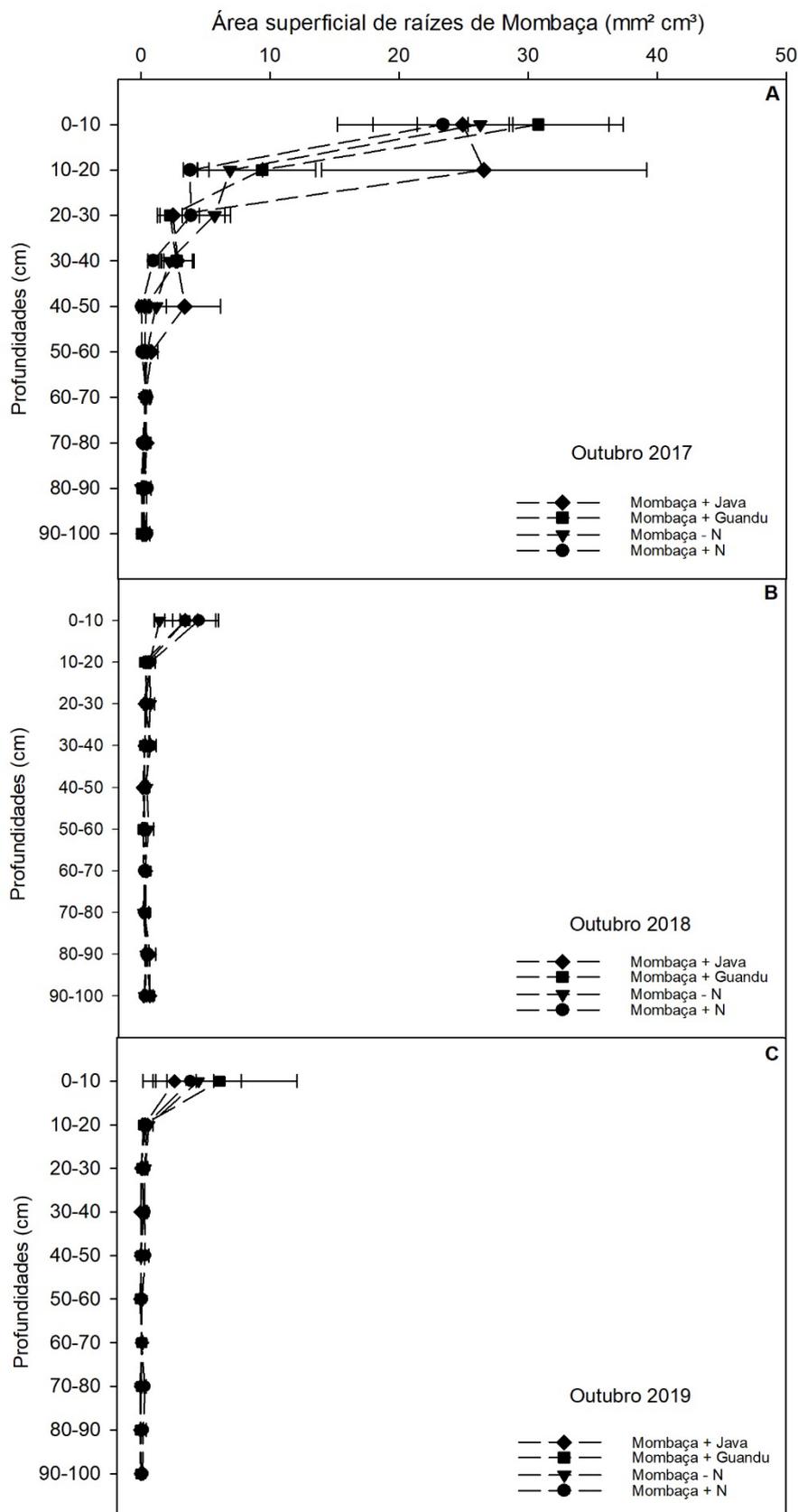


Figura 3. Área superficial de raízes de Mombaça ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$) nos anos agrícola de 2017 (A), 2018 (B) e 2019 (C). As barras indicam desvio padrão.

A Figura 4 apresenta os dados de comprimento das raízes da Mombaça (mm cm^{-3}), que conforme Wu *et al.* (2016), trata-se do conjunto de diferentes diâmetros, desde os mais finos aos mais grossos, sendo essa a quantificação de raízes que realizam a absorção de nutrientes do solo, sustentação e as pilíferas, onde no presente trabalho foram avaliados até 100 cm de profundidade, indicando que não houve diferença entre os manejos avaliados. Entretanto, o comportamento é igual aos parâmetros de volume e de área superficial das raízes de Mombaça, onde houve diminuição conforme aumentou-se a profundidade avaliada.

Na primeira avaliação, em 2017 (Figura 4A), foram observados os maiores comprimentos de raiz da Mombaça, provavelmente, devido ao maior período de permanência da pastagem na área, indicando que uma pastagem bem manejada em um período maior de tempo consegue atingir diferentes comprimentos. Em 2018 (Figura 4B) e 2019 (Figura 4C), apesar de ser pastagens recém implantadas, as raízes não possuem grande diferenciação de comprimento em seu sistema, essa diversidade foi vista apenas no momento em que a pastagem ficou no campo mais de uma safra. A diminuição do comprimento de raízes pode ter ocorrido pela diferença climática existente, como maior ou menor presença de chuvas, rusticidade da cultura avaliada ou até mesmo algumas interações entre os consórcios vistas em alguns anos e em outros não. Para um melhor entendimento desses fatores é importante continuação das avaliações.

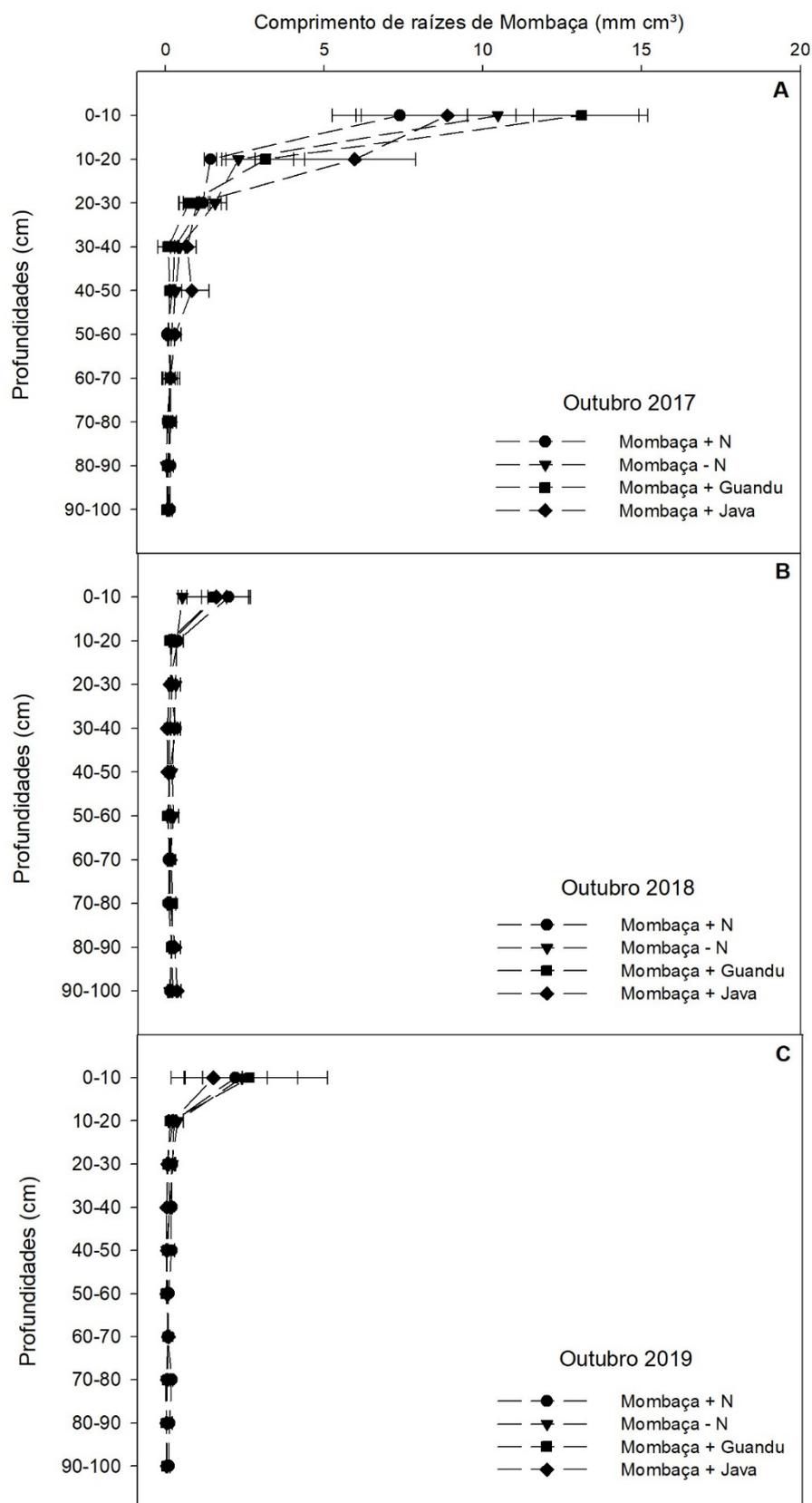


Figura 4. Comprimento de raízes de Mombaça (mm cm^{-3}) nos anos agrícolas de 2017 (A), 2018 (B) e 2019 (C). As barras indicam desvio padrão.

A biomassa seca (g cm^{-3}) das raízes da Mombaça não apresentou diferença entre os manejos avaliados (Figura 5). A biomassa das raízes diminui em profundidade (Figura 5), corroborando com os dados encontrados por Silva-Olaya *et al.* (2017). O parâmetro da biomassa seca de raízes é a quantificação da matéria seca do sistema radicular que será decomposta posterior a retirada da cultura da área, trata-se de um episódio muito importante para o perfil, pois essa é uma das principais formas da ciclagem de nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo, além de a matéria orgânica ser processo chave na agregação e estruturação do perfil.

No primeiro ano de avaliação, em 2017 (Figura 5A), observa-se que três anos após a implantação dos manejos da forrageira e introdução do gado na área, a forrageira já estava emitindo menor quantidade de raízes no solo, devido a sua diminuição natural do potencial produtivo. Após a avaliação, houve dessecação da área e semeadura da soja na safra 2017/2018, e após a sua colheita, houve renovação da pastagem e dos consórcios. Após isso, em 2018 (Figura 5B), observa-se maior biomassa de raízes nas camadas superficiais no manejo Mombaça + N e por consequência, maior emissão de raízes pela forrageira, mostrando assim que, a renovação da pastagem, a implantação da sucessão de culturas e os resíduos deixados pela cultura da soja melhoraram a fertilidade do solo e também o ambiente radicular, confirmando assim que atributos químicos e físicos do solo influenciam em seu desenvolvimento. Silva *et al.* (2003) confirmaram que a redução da produtividade das pastagens é, de forma geral, atribuída a alteração na qualidade do solo. No terceiro ano de avaliação, em 2019 (Figura 5C), houve uma estiagem intensa, entre maio e outubro (Figura 1), causando um menor crescimento e desenvolvimento da planta e consequentemente do seu sistema radicular, demonstrando assim que, mesmo após a segunda safra de soja na área, quando ocorre estresses abióticos, a planta deixa de apresentar todo seu potencial produtivo.

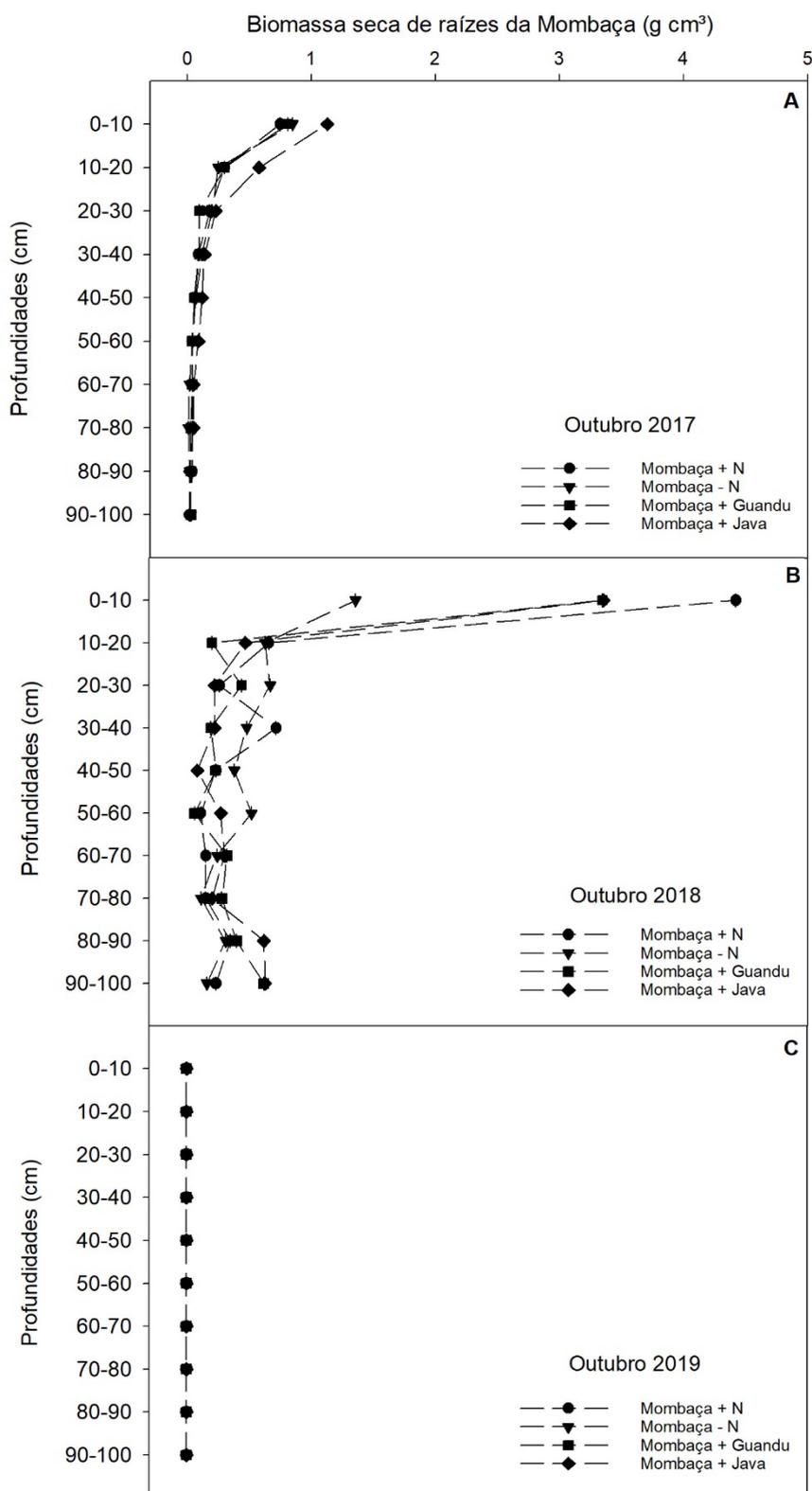


Figura 5. Biomassa seca de raízes da Mombaça (g cm^{-3}) nos anos agrícolas de 2017 (A), 2018 (B) e 2019 (C). Obs: nos gráficos dos anos de 2017 e 2018 não apresentam desvio padrão pois os valores encontrados foram muito baixos.

Um comportamento similar em todos os anos avaliados foi a diminuição da área superficial das raízes conforme aumentou-se a profundidade no perfil (Figura 3), mostrando assim que em profundidade as raízes tendem a ser menos diversificadas em relação a comprimento e diâmetro. É importante destacar que embora a área superficial das raízes seja menor em profundidade, não é devido à um ambiente de baixa fertilidade. Houve um enriquecimento de N nas formas nítrica (Figura 8) e amoniacal (Figura 9), de Ca (Figura 7) e SO_4^{2+} (Figura 6) em subsuperfície. O tempo associado a melhoria do perfil do solo colabora com a formação de raízes, entretanto, a subsuperfície do perfil apresenta menor presença de diversidade de raízes, fato esse que não justifica considerar este um ambiente pobre nutricionalmente, pois devido à movimentação de nutrientes como SO_4^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ e NO_3^- , manejos da fertilidade do solo e a sucessão de gramíneas-leguminosas e manejo de consórcios no sistema, com posterior formação de bioporos no perfil e a ciclagem de nutrientes a partir da decomposição das raízes da safra anterior.

O manejo prolongado do sistema auxilia na construção do perfil do solo, onde as raízes, mesmo em menor presença, auxiliam a dinâmica dos nutrientes em subsuperfície, pois conforme ocorre a sucessão de culturas, os restos culturais começam a se decompor e simultaneamente a essa decomposição ocorre a liberação de nutrientes presentes no tecido vegetal do sistema radicular, e com isso a melhoria do ambiente radicular nas camadas mais profundas do perfil. Nutrientes como S e Ca são essenciais na dinâmica e na construção do perfil e para a formação de raízes em profundidade.

A coleta de dados realizada em 2017 (Figura 6) mostra diferença no teor de S entre os manejos apenas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, onde o manejo Mombaça + Guandu foi superior aos demais. No mesmo ano de avaliação, observa-se um aumento dos teores nas camadas de 40-60 e 60-80 cm indicando assim a movimentação do nutriente em todo perfil, promovendo condições para a melhoria do ambiente radicular em subsuperfície no decorrer do tempo.

Observou-se maior presença de SO_4^{2-} nas camadas subsuperficiais a partir de 20-40 cm até a camada de 80-100 cm, em 2018 e 2019, que está diretamente ligado a reação da aplicação de 500 kg de gesso agrícola em setembro de 2017 (Figura 6). Por se tratar de um elemento móvel, o SO_4^{2-} consegue se ligar e se movimentar mais rapidamente quando forma pares iônicos com diversos cátions que

estejam livres no solo como Ca^{2+} , Mg^{2+} e NH_4^+ . Além disso, a diminuição da saturação de Al^{3+} pela associação com o SO_4^{2-} é muito benéfica para os sistemas, principalmente em subsuperfícies, formando assim AlSO_4^+ , forma que as plantas não conseguem absorver. Além dos benefícios na fertilidade do solo, a dinâmica do S no perfil é altamente benéfica para a correção do ambiente radicular e, assim, um maior desenvolvimento e crescimento de raiz em profundidade.

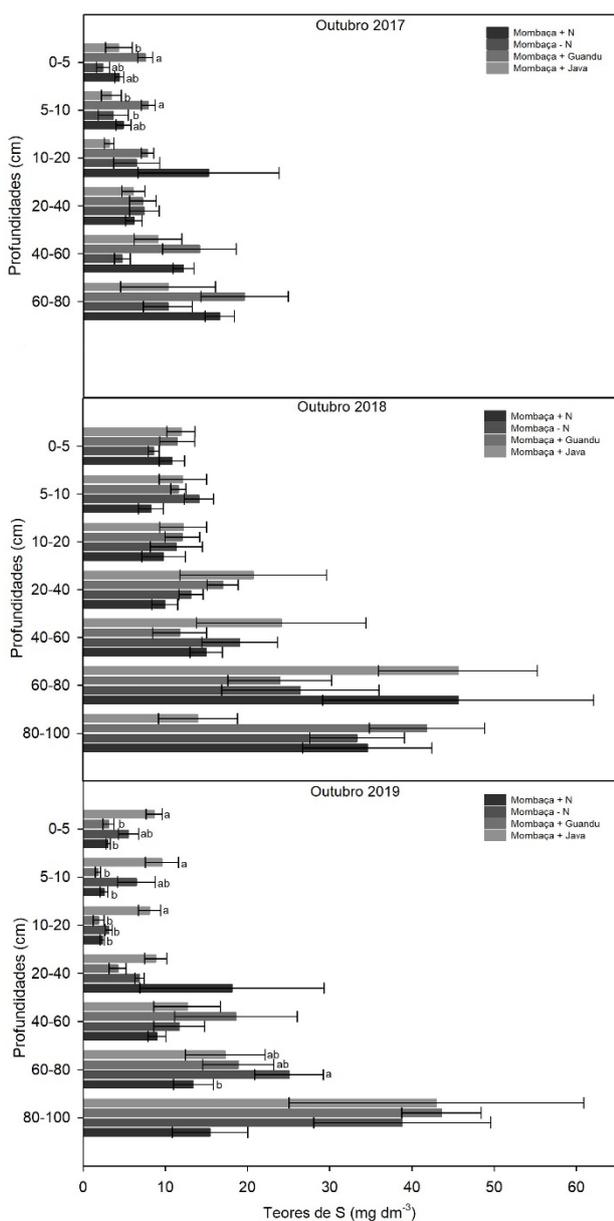


Figura 6. Teores de S- SO_4^{2-} nos anos agrícola de 2017, 2018 e 2019.

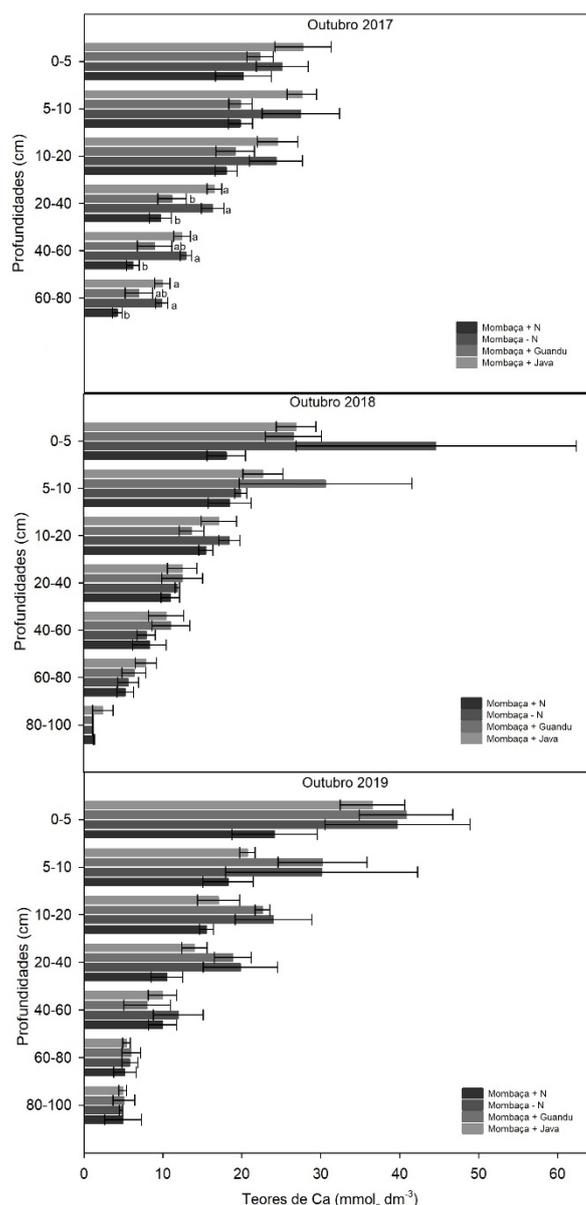


Figura 7. Teores de Ca nos anos agrícola de 2017, 2018 e 2019.

O Ca é considerado um agente cimentante do solo e junto da matéria orgânica promove a melhor agregação de solo e, por consequência, aumento da estabilidade na estruturação do perfil. Em 2017 (Figura 7) houve diferença entre os manejos avaliados no teor de Ca apenas nas camadas mais profundas do solo, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, com destaque positivo para os manejos Mombaça + Java e Mombaça - N. Em 2018 e 2019 não houve diferença no teor de Ca em nenhuma profundidade avaliada, todavia, observam-se tendências de um incremento dos teores de Ca (Figura 7) de um ano para o outro, inclusive na camada de 80-100 cm.

Após cinco anos de manejo da área, todo o perfil tornou-se mais fértil e apto para o desenvolvimento radicular das culturas, sendo elas gramíneas ou leguminosas. A dinâmica dos dois nutrientes no solo indica que o Ca pode acompanhar o SO_4^{2-} no processo de lixiviação pelo perfil, e assim melhorar os ambientes de subsuperfície do solo, e por consequência um maior crescimento do sistema radicular. Porém, apesar de estarem intimamente ligados na dinâmica no perfil devido a afinidade de formação de pares iônicos, ocorreu um aumento muito maior de SO_4^{2-} em relação aos teores de Ca^{2+} em todo o perfil nos três anos avaliados principalmente nas camadas mais profundas. Levando isso em consideração, existem outros elementos formando pares com o S, e a partir disso, acompanhando-o e melhorando assim a fertilidade do solo em subsuperfície.

Constata-se que houve maior movimentação no perfil de S em relação ao Ca, logo, é preciso explorar a possibilidade de formação de pares iônicos do SO_4^{2-} com outros nutrientes. Avaliou-se a possibilidade de estabelecimento de pares iônicos com as frações amoniacal (Figura 8) e nítrica (Figura 9), e observa-se movimentação do nutriente no perfil, nos três anos avaliados, confirmando assim a melhoria do ambiente radicular nas camadas mais profundas do solo, sendo esse um dos fatores que auxilia na indicação de ambiente fértil.

Não houve diferenças significativas entre os manejos avaliados, em 2018 (Figura 7), entretanto, houve tendências de aumento no manejo Mombaça + N, principalmente nas camadas mais profundas do perfil, e no manejo Mombaça + Guandu. Outro comportamento interessante foi que o manejo Mombaça - N apresentou tendências inferiores aos demais manejos, o que já era esperado devido a não adubação de N neste, confirmando assim que o consórcio, mesmo não apresentando diferenças estatísticas, pode ser uma ferramenta muito útil para

melhoria do perfil do solo e principalmente do ambiente radicular em subsuperfície através do auxílio na melhoria da fertilidade.

Entretanto, mesmo após a renovação da pastagem, ocorreu uma diminuição desses teores em 2019 (Figura 8), provavelmente, devido a um severo déficit hídrico, já que esse ano foi considerado atípico em relação aos índices pluviométricos (Figura 1), e por consequência ocorreu uma redução nas taxas de decomposição de matéria orgânica, diminuição da atividade de microrganismos e ainda um maior consumo da forrageira devido ao enfrentamento do período de estresse hídrico, ou seja, todas essas situações podem ter acarretado a diminuição da presença de NH_4^+ disponível e delimitação dos teores em todo perfil do solo.

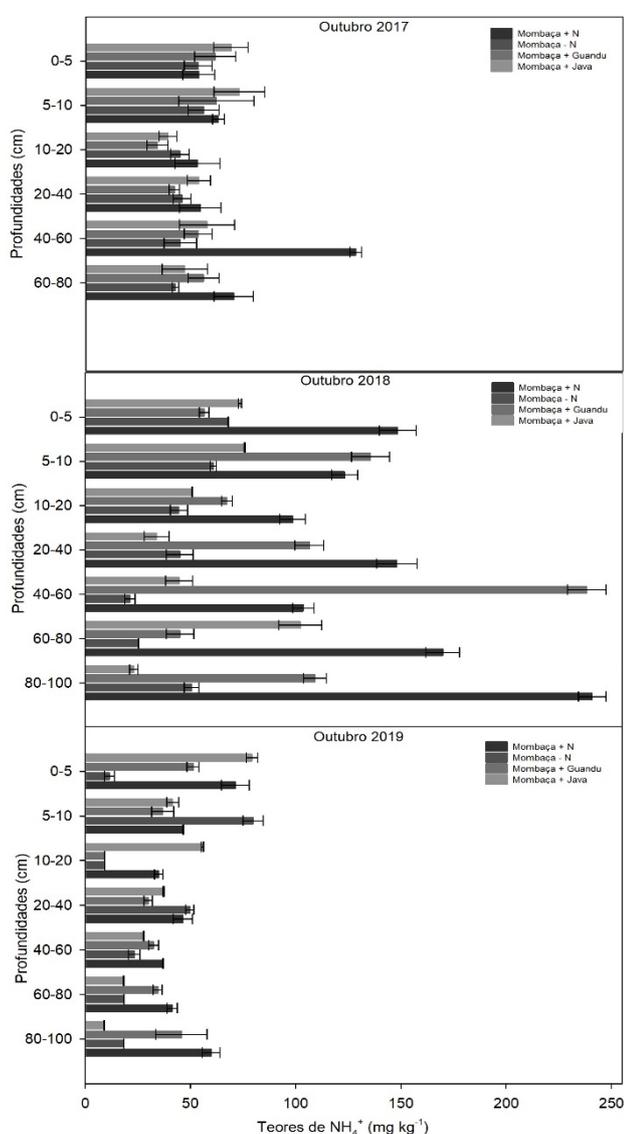


Figura 8. Teores de NH_4^+ nos anos agrícolas de 2017, 2018 e 2019.

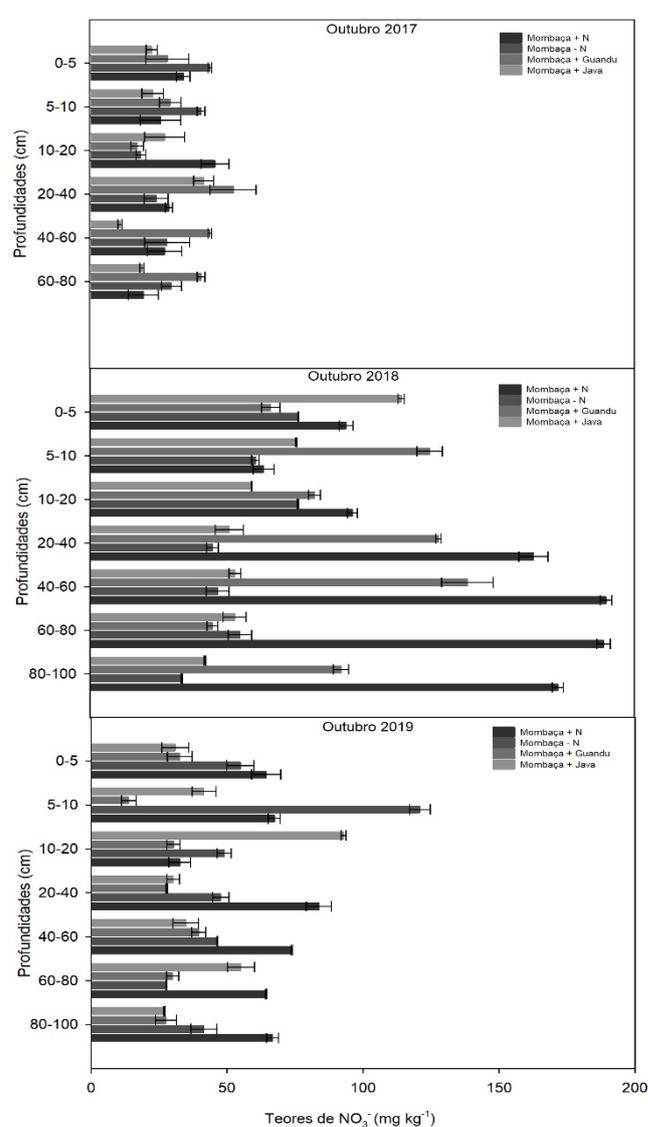


Figura 9. Teores de NO_3^- nos anos agrícolas de 2017, 2018 e 2019.

O carbono orgânico presente nos solos é o principal agente cimentante para construção e melhoria da estruturação física e arranjo de diferentes tamanhos de agregados no perfil, e uma das principais consequências é a diminuição da compactação dos solos, além de ocasionar melhorias na fertilidade do solo e imobilização dos nutrientes para posterior uso das culturas presentes nos sistemas, por isso o acúmulo de C nos solos arenosos é de extrema importância. O aumento dos teores de C orgânico em profundidade (Figura 10) é lento, todavia, nas camadas mais profundas do solo, ele está diretamente ligado a presença de raízes, logo, os sistemas de manejo que cultivam plantas mais rústicas, como as gramíneas e leguminosas forrageiras auxiliam para a melhoria dos teores de C, devido principalmente a decomposição das raízes em todo perfil, e também a presença de palhadas com diferentes relação C/N.

Na primeira avaliação, em 2017, observa-se que, estatisticamente, o manejo Mombaça + Guandu foi superior aos demais, conforme desvio padrão, manejos apenas na camada de 0-5 cm, confirmando assim que a diversificação de raízes no solo pode melhorar os teores de C orgânico. Não houve diferença entre os manejos nas demais profundidades avaliadas, o que pode estar relacionado a diminuição do potencial produtivo natural da gramínea e das leguminosas devido à idade do pasto já implantado.

Após a dessecação da área, da semeadura e posterior colheita da soja, ocorreu a replantação do pasto e dos manejos com os consórcios. Em 2018 foi verificada diferença nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 40-60 cm com destaque positivo para o manejo Mombaça + Java em relação aos demais, confirmando mais uma vez que, a presença de raízes fasciculadas e pivotantes no mesmo ambiente auxilia na melhoria dos níveis de C no solo.

Devido ao forte veranico ocorrido na safra 2018/2019 de soja (Figura 1), com perda severas da produção (Tabela 1), houve menor exportação de nutrientes pelos grãos, podendo assim explicar o melhor desenvolvimento do manejo de Mombaça – N, e como consequência maior desenvolvimento radicular, confirmado pelo volume (Figura 2), área superficial (Figura 3) e comprimento das raízes (Figura 4). Apesar de em todos os manejos ter ocorrido um grande aumento de C orgânico na avaliação de 2019, devido a maior disponibilidade de nutrientes para a pastagem, houve melhores condições de desenvolvimento para o manejo Mombaça – N e por

consequência, maior acúmulo de C total em todo perfil, apresentando diferenças significativas nas camadas de 05-10 e 10-20 cm.

Apesar de no ano agrícola de 2017, ocorrer maior comprimento de raízes, após a renovação da pastagem na área experimental, pode-se observar melhorias nos teores de Carbono Total no solo (Figura 10) nas avaliações seguintes, mostrando assim que vale a pena para o ambiente radicular e para o solo a sucessão de culturas e ciclagem de nutrientes a partir da decomposição de raízes velhas.

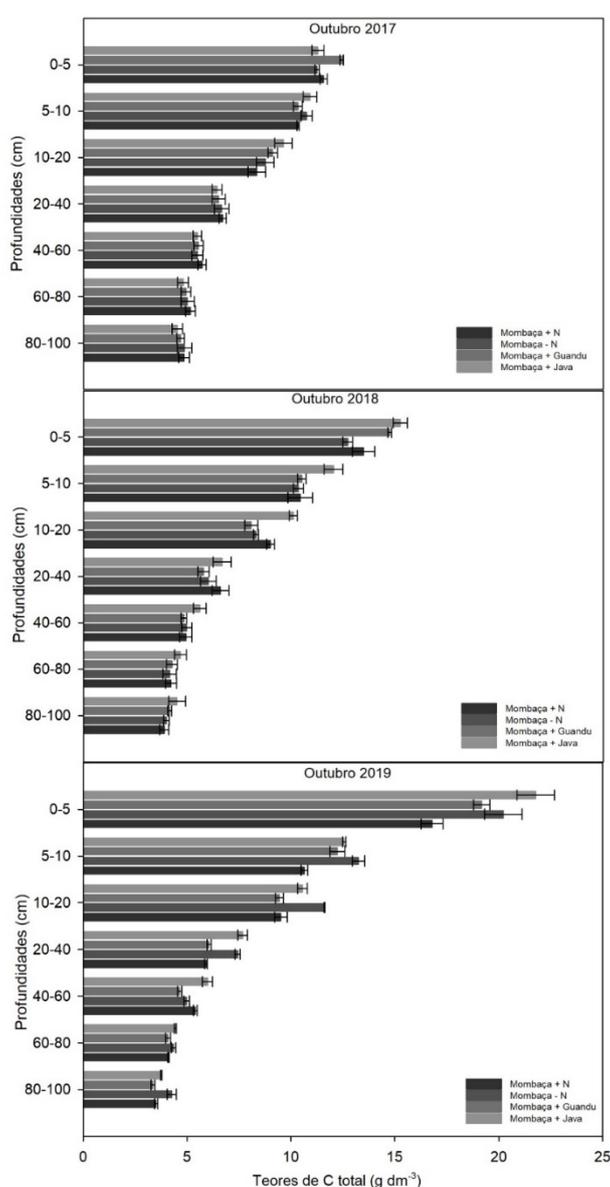


Figura 10. Teores de C total (g dm^{-3}) no perfil do solo, nos anos agrícolas de 2017, 2018 e 2019. As barras indicam desvio padrão.

Para Campos *et al.* (2016), os sistemas de uso e manejo são os principais fatores que influenciam os estoques de carbono e a estabilidade dos agregados, e conforme houve a condução do manejo do sistema e a sucessão de culturas na área experimental houve também incremento dos teores de C orgânico (Figura 10) e a partir disso, houve mudanças no equilíbrio das classes de tamanhos de agregados de solo, sendo denominadas de classe 1: de macroagregados com agregados >2 mm, a de mesoagregados divididos em três classes, sendo a classe 2 com agregados entre 2-1 mm, a classe 3 com agregados entre 1-0,5 mm e a classe 4 com agregados entre 0,5-0,25 mm e a classe 5 com os microagregados com agregados <0,25 mm.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhum dos anos avaliados, logo, buscou-se diferenças entre os anos de avaliação (Figura 12), todavia, em 2017, todas as profundidades apresentaram a tendência de maior presença de macroagregados, da classe 1 de tamanho de, dados que corroboram com os índices de DMP (Figura 12) no primeiro ano. Nessa época, por ser um sistema recém implantado, com apenas três anos de manejo, considerando que o sistema ainda estava longe do equilíbrio, sendo esse equilíbrio considerado quando há porcentagens próximas de todas as classes, além dos teores relacionados a fertilidade do solo baixos e por consequência indícios de compactação de solo.

No decorrer do tempo de manejo, e com a entrada da soja em outubro de 2017 (Figura 1), ocorreu uma melhoria da fertilidade do solo como o aumento do teores de $S-SO_4^{2-}$, Ca e carbono orgânico, de modo geral, indicando que dentro de um sistema, o manejo pode modificar além da fertilidade, mudando também as características físicas do solo. Estas informações corroboram com Rosa *et al.* (2018), que afirmaram que mudanças na cobertura vegetal do solo podem acarretar modificações em algumas propriedades do solo, interferindo diretamente em sua qualidade.

Nas avaliações de 2018, apesar de não observar diferença neste quesito, observa-se o início de um equilíbrio entre as classes de agregados dentro de cada sistema, sendo os meso e microagregados do solo. Por se tratar de um manejo contínuo, com a entrada de raízes dos consórcios de gramíneas como leguminosas forrageiras, e com a entrada da safra de soja no verão, as tendências de uma melhoria no perfil do solo, como foi observado no ano agrícola de 2019 (Figura 11), onde é possível notar gradativamente que houve tendência de diminuição da classe

de macroagregados, e aumento das demais classes, meso e microagregados do solo.

O aumento do teor de C orgânico (Figura 10), provavelmente, contribuiu para melhoria dessa estrutura e as raízes, por meio de sua penetração entre os grandes macroagregados, conseguiu assim reduzir a compactação do solo através da melhoria da porosidade do solo (Figura 2 – Capítulo 2) e aumentar os meso e microagregados. Este comportamento também foi encontrado por Kumar *et al.* (2017), que observaram a diminuição dos macroagregados quando houve mais raízes em crescimento no perfil com consequente aumento gradual dos microagregados, confirmando que a raiz influencia diretamente na redistribuição de classes de tamanho de agregados, através de sua morfologia, tamanho e desenvolvimento.

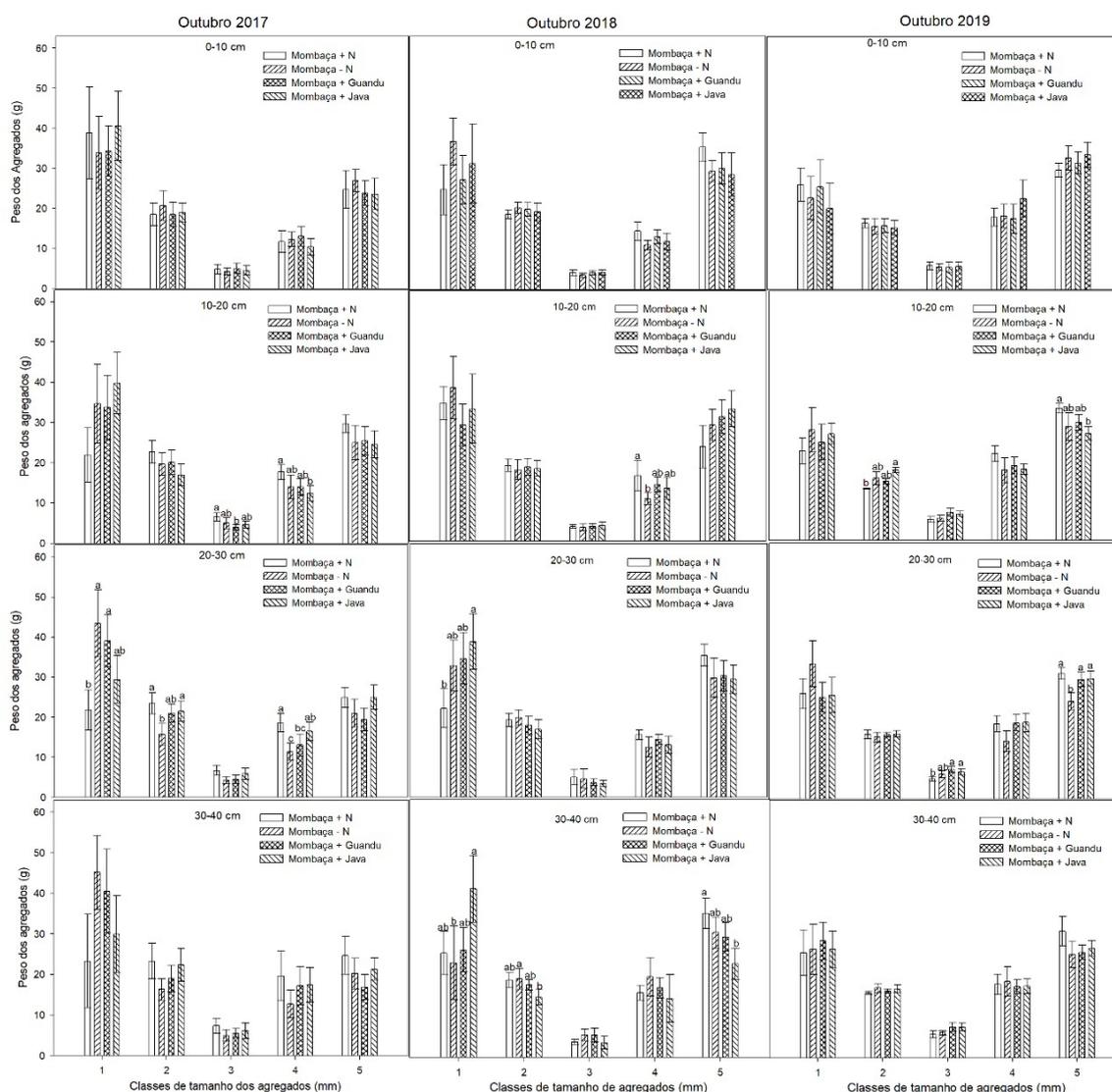


Figura 11. Classes de tamanho de agregados do solo (mm), sendo classe 1 macroagregados >2,00 mm, classe 2 mesoagregados entre 2-1 mm, classe 3 de mesoagregados entre 1-0,5, classe 4 de mesoagregados entre 0,5-0,25 mm e a classe 5 de microagregados <0,25 mm nos anos agrícola de 2017, 2018 e 2019. As barras indicam desvio padrão.

O uso de gramíneas rústicas, como a Mombaça, auxilia diretamente na agregação do solo, o que foi confirmado por Blankinship *et al.* (2016), que observaram que independente da estação seca, a remoção de plantas reduz o tamanho dos agregados de 22 a 33%, diminuindo principalmente os macroagregados do solo (>2,00 mm), sugerindo que, mesmo em períodos de seca, os macroagregados do solo são preservados pela presença de raízes mortas das

plantas.

Não houve diferenças entre os manejos avaliados dentro de cada ano agrícola, entretanto, observou-se que inicialmente houve diminuição de macroagregados no solo de um ano para o outro, quando comparados os três anos agrícolas (Figura 12A), pelos valores de DMP (mm) de 2017, que foram acentuados em todas as profundidades avaliadas. Porém, diante da sucessão de culturas implementada no sistema, em 2018 e principalmente 2019, houve diminuição dos valores de DMP na área, indicando assim que o manejo intenso do sistema, a sucessão de culturas, diferenciação do sistema radicular e o aporte de matéria orgânica permitem a reestruturação do perfil modificando sua agregação.

De acordo com Castro Filho *et al.* (1998), o índice de diâmetro médio ponderado (DMP) é maior quando a porcentagem de agregados retidos nas peneiras de malhas maiores é mais elevada, ou seja, frações maiores de solo unidas por matéria orgânica presente no perfil, adensamento e compactação do solo, indicando a presença de mais macroagregados no perfil. Dependendo da situação, obter elevados índices de DMP não é um bom resultado, indicando assim compactação do solo.

Não houve diferenças entre os manejos dentro de cada ano agrícola nos índices de diâmetro médio geométrico (DMG), por isso apresenta-se a diferença entre os 3 anos agrícolas avaliados (Figura 12B). Segundo Castro Filho *et al.* (1998), o DMG estima o tamanho da classe de agregado de maior ocorrência no perfil do solo, ou seja, o DMG é menor quando há maior presença de uma classe de agregados, onde em 2017 houve um menor DMG indicando que no início das avaliações, antes da renovação dos manejos no sistema, o solo possuía maior quantidade de agregados de uma mesma classe, e quando relacionado aos altos índices de DMP (Figura 12A), encontra-se um perfil com presença de compactação, fato que pode ser comprovado devido aos baixos valores de macroporosidade do solo em 2017 e pelo aumento desse parâmetro em 2018 (Capítulo 2 – Figura 3).

Com a sucessão de culturas, houve maior diferenciação de tamanho de agregados em todas as profundidades avaliadas (0-40 cm), em 2019 e principalmente em 2018, que foi o ano que apresentou maior diferença nos valores de DMG no solo (Figura 12B), indicando que a diversificação das raízes e a renovação do sistema são cruciais para as mudanças no perfil do solo. A sucessão de culturas e a introdução de culturas de cobertura possuem uma ação direta na

formação e na estabilização dos agregados, principalmente em sistemas de cultivo que aportam materiais orgânicos e cobrem o solo durante o ano todo (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

O índice de estabilidade de agregados (IEA) representa uma medida de agregação total do solo, ou seja, indica se esse solo apresenta uma estabilidade ou ainda está em estruturação (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). Em 2017 (Figura 12C) houve maiores índices de IEA quando comparado com os anos de 2018 e 2019, exceto na profundidade de 10-20 cm que não apresentou diferenças. Houve diminuição da estabilidade do solo nas profundidades de 0-10, 20-30 e 30-40 cm, em 2018 e 2019, confirmando assim que a sucessão de culturas, o manejo intenso do sistema, o desenvolvimento de raízes e o aporte de matéria orgânica podem iniciar mudanças no perfil, mas por se tratar de diferenças pequenas, o perfil do solo pode demorar anos para a formação de um perfil mais equilibrado. Estes resultados corroboram os dados de Castro Filho *et al.* (1998), que constataram que, após 14 anos de experimento em sistema plantio direto submetido a diferentes sucessões de cultura entre gramíneas e leguminosas, obtiveram maior acúmulo de parte aérea e raízes, além e por consequência aumento de 10% no IEA, indicando que o aporte de matéria orgânica é essencial para melhoria dos parâmetros físicos do solo.

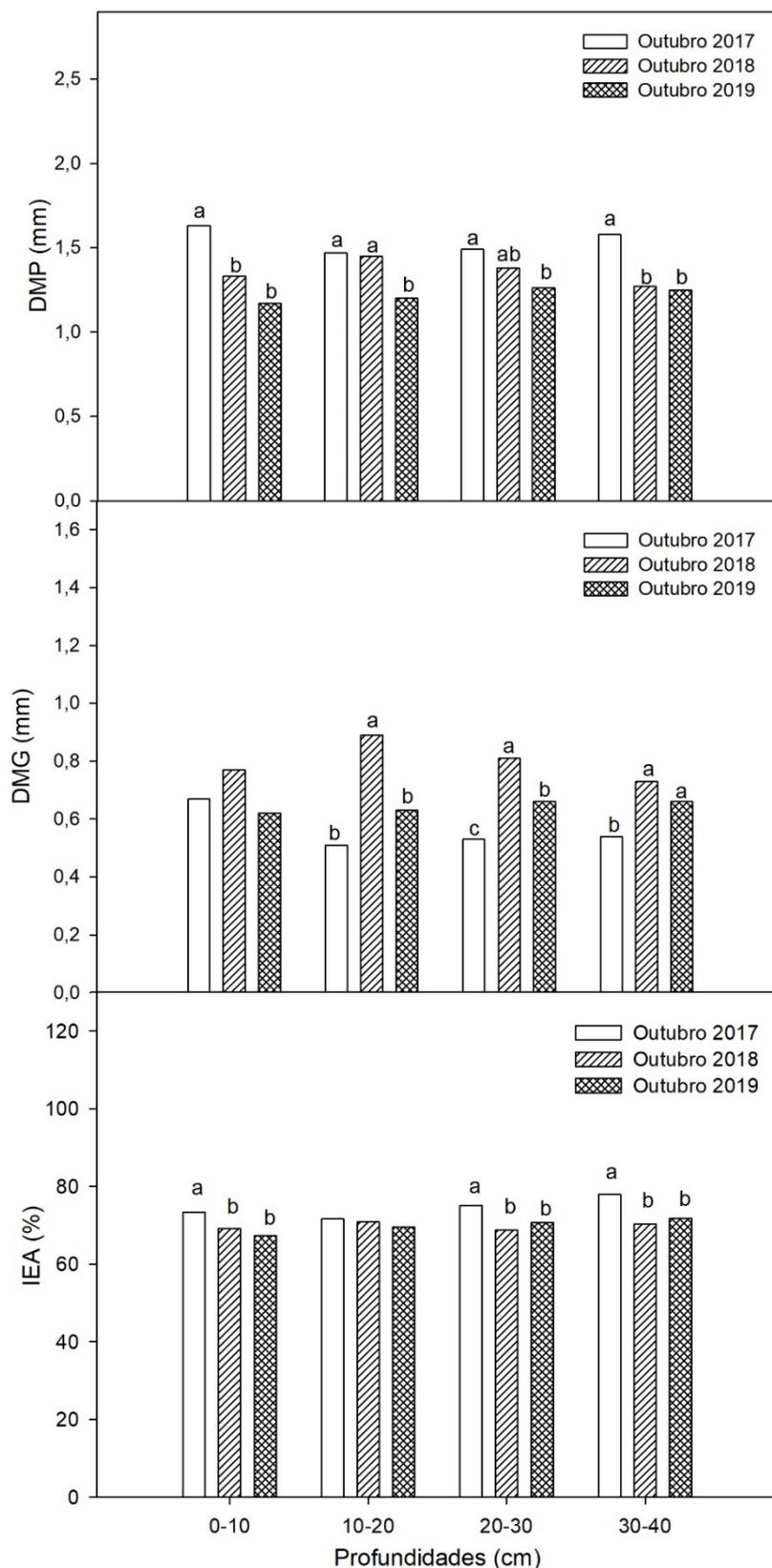


Figura 12. Índices de DMP (Diâmetro médio ponderado) (mm) (letra A), DMG (Diâmetro médio geométrico) (mm) (letra B) e IEA (Índice de estabilidade de agregados) (%) (letra C) nos anos agrícolas de 2017, 2018 e 2019. A barra indica o desvio padrão. As letras indicam a diferença entre os anos agrícolas.

Durante as safras avaliadas a produtividade da soja não apresentou diferença significativa entre os manejos avaliados (Tabela 2). Embora a produtividade da safra 2017/2018 ser muito inferior a safra 2019/2020, isso é justificável pelo veranico de 22 dias que a soja enfrentou na fase de enchimentos de grãos (Figura 1), confirmando assim o desafio de produção de grãos no Oeste Paulista.

Tabela 2. Produtividade da soja na área experimental, safras 2017-2018 e 2018-2019.

Manejos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Safra 2017-2018	Safra 2018-2019
Mombaça + N	4472,18 a	137,15 a
Mombaça - N	4004,59 a	209,34 a
Mombaça + Guandu	3687,46 a	219,75 a
Mombaça + Java	4078,66 a	258,77 a
DMS	1265,99	211,23
CV (%)	14,12	46,38

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

Os manejos que possuíam consórcio de gramíneas e leguminosas promoveram maior volume, área superficial e comprimento de raízes, principalmente quando a Mombaça permaneceu na área experimental por mais de uma safra, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

O DMP e o IEA foram reduzidos com o decorrer dos anos avaliados em todas as profundidades, indicando assim que o perfil não está estabilizado, já o DMG nas profundidades de 10-20, 20-30 e 30-40 foi maior no ano de 2018.

Os teores de S-SO₄²⁻ aumentaram ao longo do tempo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 no sistema mombaça + Java e mombaça sem N em 60-80. Os teores de Ca e N (NH₄⁺ e NO₃⁻) e Carbono total no solo não diferiram entre si.

A classes de tamanho de agregados do solo não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

REFERÊNCIAS

- BLANKINSHIP, J. C.; FONTE, S. J.; SIX, J.; SCHIMEL, J. P. Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem. **Geoderma**, v.272, p.39-50, jun. 2016.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Rev Ambient Água**, v.11, apr./jun. 2016.
- CANTARELA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. *In: Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Rev Bras Ci Solo**, v.22, p.527-538, 1998.
- DAL FERRO, N.; SARTORI, L.; SIMONETTI, G.; BERTI, A.; MORARI, F. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. **Soil Till Res.**, v.140, p.55-65, jul. 2014.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solo, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. **Safira**: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 20 p.
- GIST, G. R.; SMITH, R. M. Development of several common forage grasses to a depth of eighteen inches. **J Am Soc Agr.**, p.1036-1042, nov. 1948.
- JIANG, X. J.; LIU, W.; CHEN, C.; LIU, J.; YUAN, Z. Q.; JIN, N.; YU, X. Effects of three morphometric features of root on soil water flow behavior in three site in China. **Geoderma**, v.320, p.161-171, jun. 2018.
- KUMAR, A.; DORODNIKOV, M.; SPLETTSTÖBER, T.; KUZYAKOV, Y.; PAUSCH, J. Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. **Geoderma**, v.305, p.50-57, nov. 2017.
- RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ci Rural**, v.34, n.4, jul./ago. 2004.

ROSA, S. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FLEIG, F. D.; RODRIGUES, M. F.; GELAIN, N. S. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Ci. Florest.**, v.28, n.2, apr./jun. 2018.

KOKKO, E. G.; VOLKMAR, K.M., GOWEN, B.E.; ENTZ, T.; Determination of total root surface area in soil core samples by image analysis. **Soil Tillage Res.**, v.26, n.1, p33-43, feb. 1993.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil Tillage Res.**, v.70, n.1, p.83-90, mar. 2003.

SILVA-OLAYA, A. M.; DAVIES, A.C.; CERRI, P. E. C.; ALLEN, J. D.; MELLO, C. F. F.; CERRI, C. C. Quantifying above and belowground biomass carbon inputs for sugar-cane production in Brazil. **Soil Res.**, v.55, n.7, p.640-648, 2017.

SHER, Y.; BAKER, N. R.; HERMAN, D.; FOSSUM, C.; HALE, L.; ZHANG, X.; NUCCIO, E.; SAHA, M.; ZHOU, J.; PETT-RIDGE, J.; FIRESTONE, M. Microbial extracellular polysaccharide production and aggregate stability controlled by switchgrass (*Panicum virgatum*) root biomass and soil water potential. **Soil Biol Bioch.**, v.143, p.107742, apr. 2020.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Rev Bras Ci Solo**, v.28, p.891-900, 2004.

WU, Q.; PAGÈS, L.; WU, J. Relationships between root diameter, root length and root branching along lateral roots in adult, field-grown maize. **Annals Bot.**, v.117, n.3, p.379-390, mar. 2016.

4 CAPÍTULO 2

ESTRUTURAÇÃO FÍSICA E SISTEMAS DE CULTIVO CONSORCIANDO FORRAGEIRAS E LEGUMINOSAS EM SOLOS TROPICAIS

RESUMO

Os sistemas de manejo de solos arenosos é um desafio para a produção agrícola em áreas como do Oeste Paulista. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade física de solo arenoso submetido a diferentes sistemas de manejo. A localização da área experimental é definida pelas coordenadas geográficas: 22°16'59" Latitude Sul e 51°40'34" Longitude Oeste, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Argiluvico com 17% de argila na camada de 0-10 cm. A área experimental possuía quatro tratamento e quatro repetições, em delineamento em blocos casualizados, sendo os manejos Mombaça + N. Mombaça – N, Mombaça + Guandu e Mombaça + Java Antes da dessecação da pastagem e consórcios, foi realizada abertura de trincheiras, sendo uma em cada parcela experimental, para retirada das amostras indeformadas de solo com os anéis volumétricos, para mensuração da densidade do solo, micro, macroporosidade e porosidade total do solo. Durante todo o período experimental houve avaliação de resistência do solo a penetração, onde foi utilizado o penetrômetro de impacto para avaliação da compactação do solo. Antes da entrada do gado na área, foram feitas avaliações para coleta de forrageira para mensurar a produtividade do pasto e durante o estágio R8 da soja foram retiradas amostras, aleatoriamente, na parcela para mensurar a produtividade da soja. A sucessão de culturas e manejo contínuo no sistema apresentou modificações de um ano agrícola para o outro nos parâmetros de macro, micro, porosidade total e densidade do solo. Porém, a resistência a penetração do solo não apresentou mudanças ao longo do período de avaliação da área, demonstrando assim que o consórcio entre gramíneas e leguminosas não proporcionaram redução imediata de compactação. A adubação mineral de N no sistema melhorou a produtividade da forrageira, além de apresentar vantagens na produtividade da soja no verão.

Palavras-chave: Porosidade total do solo, densidade do solo, compactação, resistência à penetração, consórcios de gramínea e leguminosas;

ABSTRACT

Sandy soil management systems are a challenge for agricultural production in areas such as Oeste Paulista. The aim of this work was to evaluate the physical quality of sandy soil subjected to different management systems. The location of the experimental area is defined by the geographic coordinates: 22°16'59" South Latitude and 51°40'34" West Longitude, in a Red Yellow Dystrophic Argiluvic Latosol with 17% clay in the 0-10 cm layer. The experimental area had four treatments and four replications, in a randomized block design, being the managements Guinea grass + N. Mombaça – N, Mombaça + Guandu and Mombaça + Java Before the desiccation of the pasture and intercropping, trenches were opened, being one in each experimental plot, to remove undisturbed soil samples with volumetric rings, to measure soil density, micro, macroporosity and total soil porosity. During the entire

experimental period there was an evaluation of soil penetration resistance, where the impact penetrometer was used to evaluate soil compaction. Before the cattle entered the area, evaluations were made for forage collection to measure pasture productivity and during the R8 soybean stage, samples were randomly taken from the plot to measure soybean productivity. The succession of crops and continuous management in the system showed changes from one agricultural year to the other in the parameters of macro, micro, total porosity and soil density. However, the resistance to soil penetration did not change over the period of evaluation of the area, thus demonstrating that the intercropping between grasses and legumes did not provide an immediate reduction in compaction. The mineral N fertilization in the system improved forage productivity, in addition to presenting advantages in soybean productivity in the summer.

Key-words: Total soil porosity, soil density, compaction, resistance to penetration, intercropped of grasses and legumes;

1 INTRODUÇÃO

Os solos arenosos presentes em áreas agrícolas tropicais, quando mal manejados apresentam elevada taxa de decomposição de matéria orgânica, com rápida drenagem de água e alta compactação ao longo do perfil. Por isso, a cada ano agrícola, há a necessidade de manter o sistema sempre em rotação de culturas para que o fluxo de deposição de palhada e acúmulo de matéria orgânica seja sempre o suficiente para manter a saúde do sistema, a ciclagem de nutrientes e a estruturação do perfil. Conforme Diel *et al.* (2019), a estrutura do solo sofre mudanças contínuas, devido a diversos fatores bióticos e abióticos, como a bioturbação causada por animais como as minhocas e o distúrbio mecânico causado pelo preparo do solo.

A estruturação de um solo arenoso é diferente de um solo argiloso, por isso conhecer medidas como resistência do solo a penetração, porosidade e densidade são de grande importância nos sistemas de manejo atual. Para Sirmansky *et al.* (2019), o conhecimento da estruturação dos solos é de grande importância, pois esse é um fator que influencia no crescimento e produtividade das culturas. O conjunto desses parâmetros é conhecido como propriedades físicas do solo, e para Walia e Dick (2018), essas propriedades desempenham papel importante na manutenção das condições adequadas do solo para o crescimento e desenvolvimento sustentável das culturas.

O manejo de sistema vem se tornando peça chave na melhoria das propriedades físicas do solo, e inserir no sistema diferentes sistemas radiculares através de consórcios de leguminosas e gramíneas além de garantir a estruturação, também garante melhorias na fertilidade dos solos. De acordo com Rodrigues *et al.* (2021), é a rotação de culturas e a introdução de culturas de cobertura que melhoram a sustentabilidade da agricultura tropical por meio de melhorias na conservação do solo e na eficiência do uso da água.

Outro fator importante na melhoria do perfil está ligado ao sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), que mantém o solo sempre vegetado para introdução do gado e também para a produção de grãos, como a soja, trazendo maior aporte de matéria orgânica e nutrientes. Logo, o uso eficiente do N é uma das principais preocupações na sustentabilidade da agricultura moderna, e a introdução das leguminosas para auxiliar nessa eficiência é crucial, devido a fixação biológica e também a entrada de palhadas com diferentes relações C/N.

A partir destas informações, investigou-se a hipótese de que os sistemas de manejo consorciados, visando deixar o solo sempre vegetado com diferentes tipos de sistemas radiculares e em sucessão de culturas ocasionaria melhorias nas propriedades físicas do solo desde camadas superficiais até as mais profundas, além de um maior aporte de N e os demais nutrientes essenciais para a melhoria da fertilidade do solo, e melhorias na produtividade das culturas.

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade das propriedades físicas do solo como macro, micro e porosidade total do solo, densidade do solo e resistência a penetração do solo submetido a manejos com e sem adubação mineral e com adubação orgânica através do consórcio com leguminosas, e sua eficiência na produtividade do pasto e da soja no verão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e manejos

O experimento foi estruturado e instalado em 2015 e a localização da área experimental é definida pelas coordenadas geográficas: 22°16'59" Latitude Sul e 51°40'34" Longitude Oeste, em um Latossolo vermelho amarelo distrófico argilúvico com 17% de argila na camada de 0-10 cm. O clima da área experimental é marcado

por um inverno bem seco, com baixos índices pluviométricos, e um verão chuvoso (Figura 1).

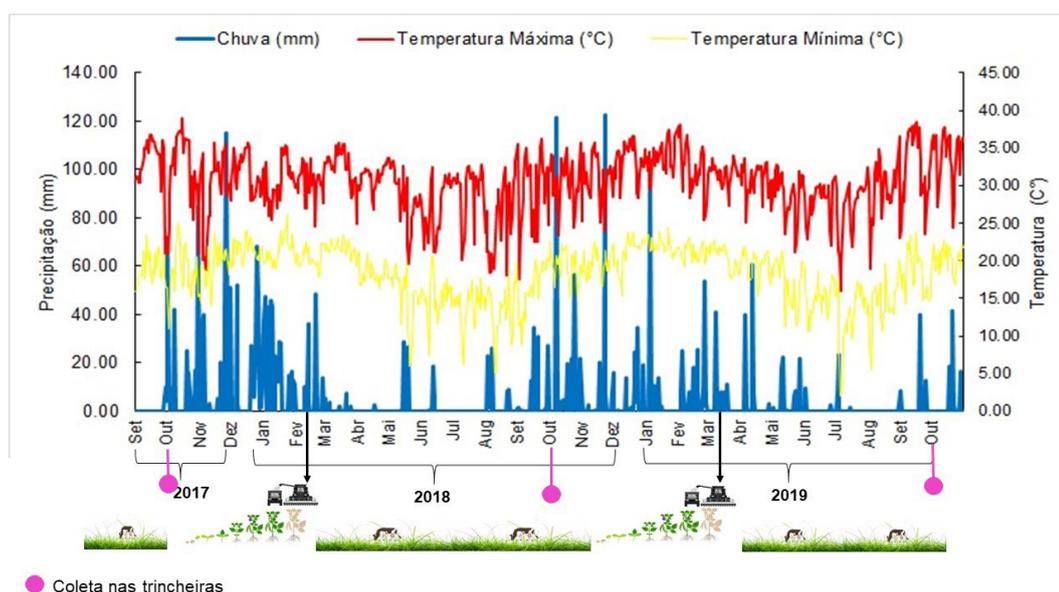


Figura 1. Índices de pluviosidade e temperatura da área experimental durante os anos de avaliação de 2017, 2018 e 2019.

Foram definidos os seguintes manejos na área experimental: *Panicum maximum* cv. Mombaça solteira com adubação nitrogenada de 200 kg ha⁻¹ (Mombaça + N), *Panicum maximum* cv. Mombaça solteira sem adubação nitrogenada mineral (Mombaça - N), *Panicum maximum* cv. Mombaça consorciado com Guandu (*Cajanus cajan*) sem adubação nitrogenada mineral (Figura 1 do anexo) (Mombaça + Guandu) e *Panicum maximum* cv. Mombaça consorciado com Java (*Macrotyloma axillare*) sem adubação nitrogenada mineral (Figura 2 do anexo) (Mombaça + Java), sendo um total de 4 manejos e 4 repetições com delineamento experimental em blocos casualizados.

2.2 Avaliações realizadas

Após a estruturação e definição dos manejos do experimento, antes da dessecação da pastagem, foram abertas trincheiras (Figura 4 do anexo), sendo uma em cada parcela experimental, com as seguintes dimensões 1,20 m (P) x 1,20 m (C) x 0,90 m (L), para retirada de amostras indeformadas de solo com os anéis

volumétricos (Figura 6 do anexo) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm para avaliação de densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade do solo, que foram determinadas conforme metodologia da EMBRAPA (1997). A metodologia consistiu em saturar os anéis com água e posteriormente e colocá-los nas placas porosas (Figura 12 e 13 do anexo) de pressão (RICHARDS, 1949; TOPP *et al.*, 1993). No interior dos extratores de água, as amostras foram submetidas a 0,060 bar de pressão, após isso levadas para estufa onde foram secas a 105°C por 24 horas. E realizados os cálculos conforme a EMBRAPA (1997).

Após a coleta das amostras físicas, foram coletadas amostras deformadas de solo, para analisar o teor de carbono total do solo conforme a metodologia descrita em Raij *et al.* (2001), e também para análise de granulométrica (EMBRAPA, 1997) da área experimental.

Tabela 1. Análise granulométrica, da área experimental, 2017

Profundidade (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
0-10	773	48	179	Média Arenosa
10-20	763	68	169	Média Arenosa
20-40	736	41	223	Média Arenosa
40-60	707	63	230	Média Arenosa
60-80	695	55	250	Média Arenosa
80-100	697	56	247	Média Arenosa

A resistência do solo à penetração (RP) foi realizada com penetrômetro de impacto (Figura 9 do anexo) do modelo IAAPLANALSUCAR/STOLF (STOLF *et al.*, 1983), aleatoriamente, em quatro pontos em cada parcela experimental ajustados nas profundidades de 5, 10, 20 e 40 cm, totalizando 256 leituras. O princípio de funcionamento deste modelo de penetrômetro é a penetração de uma haste com ponteira, através do impacto de um embolo de massa conhecida a uma altura constante. Após a quantificação dos impactos, ocorreu a transformação dos valores de impactos e profundidade de penetração em leituras expressas em pressão. As amostragens eram realizadas após chuvas de no mínimo 30 mm, porém em algumas épocas com déficit hídrico também foram realizadas as amostragens para posterior comparação dos valores.

A produtividade da soja foi avaliada a partir da amostragem de 12 m lineares de soja, colhidos aleatoriamente em cada parcela experimental, levados até a trilhadeira para separação dos grãos e posteriormente realizada a pesagem, e com o peso foi calculada através de uma equação a produtividade em hectares.

A produtividade da pastagem foi realizada sempre antes da entrada do gado para pastejo na área experimental, onde, aleatoriamente no centro da parcela, eram colocados quadros de 1 m² e 30 cm de altura do chão, e com uma tesoura de poda era realizado o corte desta área, armazenada em sacos pretos para posterior transporte e a pesagem em balanças analíticas, após isso a massa foi convertida em kg ha⁻¹, para obtenção da produtividade em hectares.

Ao final das avaliações, os resultados foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se pacote estatístico SISVAR. Também foi realizada correlação de Pearson (r) entre produtividade das culturas (Mombaça e soja) e RP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença nos valores de densidade do solo em 2017 (Figura 2A) na camada de 0-5 cm do solo onde o manejo Mombaça + Guandu apresentou maior densidade que os demais. Além disso, na camada de 5-10 cm houve diminuição na densidade, o que provavelmente, por se tratar de uma área com recém implantação do sistema de semeadura direta, pode-se considerar que as camadas superficiais com tendências de desestruturação na profundidade de semeadura.

Em 2018 (Figura 2B) não houve diferença entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas, mesmo após três anos de manejo da área e a entrada da soja no sistema de cultivo. Os valores de densidade variaram entre 1,3 e 1,6 g cm⁻³, valores considerados adequados para o crescimento de raízes e o desenvolvimento das culturas em todo perfil. Reinert *et al.* (2008) demonstraram que há crescimento normal de raízes de plantas de cobertura até o limite de densidade de 1,75 mg m⁻³, e a partir desse limite pode ocorrer deformações no sistema radicular das culturas, diminuindo o crescimento vertical e aumentando a concentração na camada superficial do solo, e por consequência diminuição na produtividade das culturas do solo.

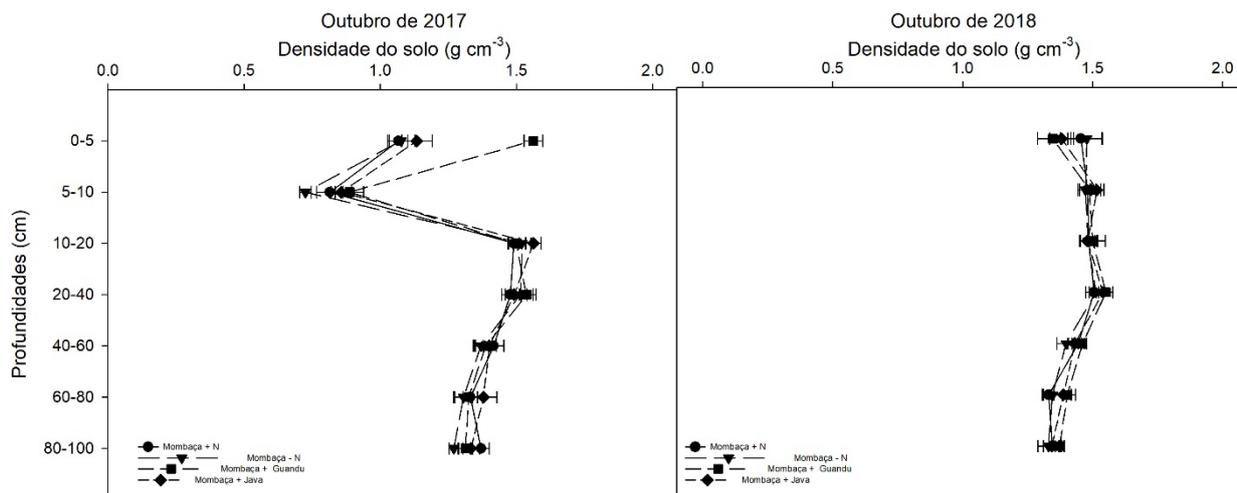


Figura 2. Densidade do solo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, nos anos agrícolas de 2017 e 2018.

Os manejos avaliados não apresentaram diferenças nos parâmetros macroporosidade, microporosidade e porosidade total em nenhuma das profundidades avaliada em 2017 (Figura 3). Porém, observa-se um aumento da porosidade do solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, onde ocorre a maior quantidade de microporos, o que poderia ser considerado bom, pois esses são os poros que promovem o aumento da capacidade de armazenamento de água no perfil, principalmente em solos arenosos. Estes dados corroboram com Fachi *et al.* (2016), que avaliou solos com granulometrias variadas (Cambissolo húmico 38,57%, Nitossolo 25% e Latossolo vermelho 31% de areia), e mencionaram além da porosidade do solo interferir no desenvolvimento e na produção vegetal, é responsável pela retenção e fluxos de ar e de água no perfil.

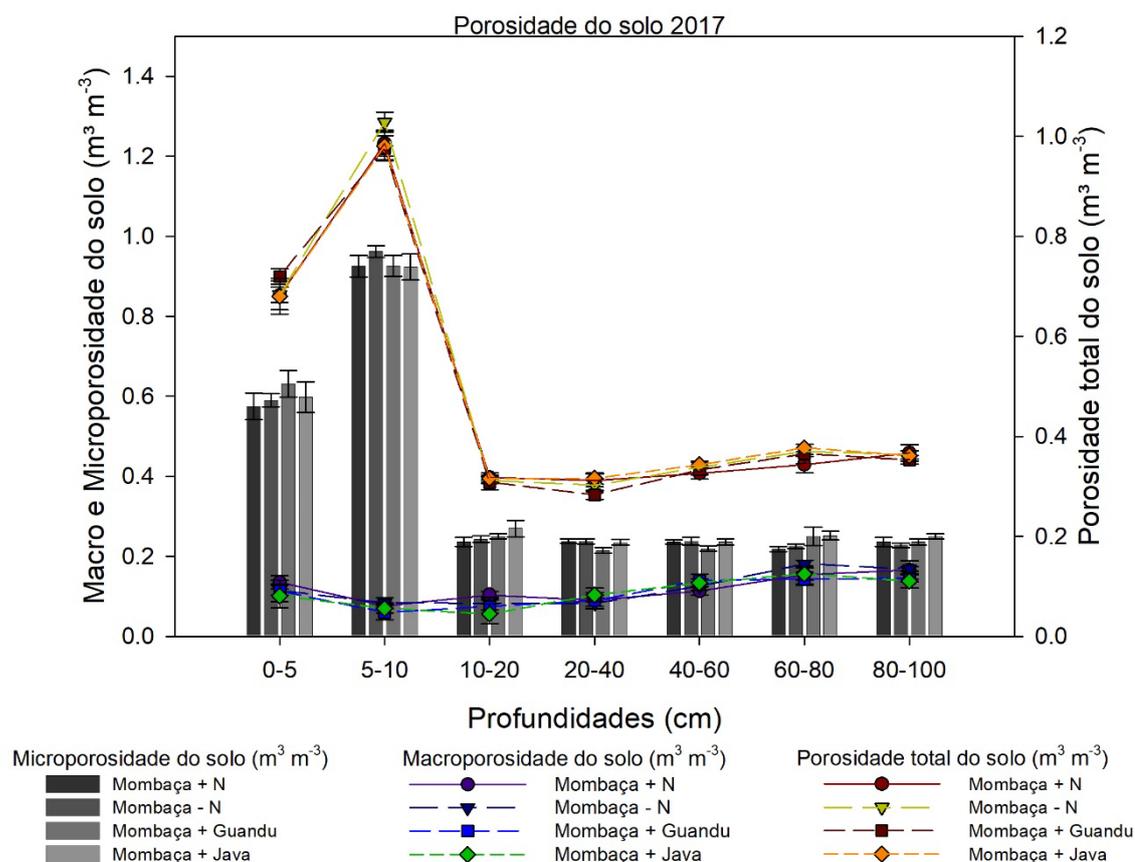


Figura 3. Valores de porosidade total: macro e microporosidade nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, avaliados em 2017.

Após a entrada da soja no sistema, em 2018 (Figura 4), foi feita uma nova avaliação dos parâmetros físicos do solo (macro, micro e porosidade total) e novamente não foram observadas diferenças entre os manejos do sistema em nenhuma das profundidades avaliadas. Entretanto, houve uma modificação da porosidade do solo em superfície, 0-5 e 5-10 cm, mostrando-se um solo com mais equilíbrio entre macro e microporosidade em todo perfil. Esta mudança pode ser confirmada pela modificação dos valores de diâmetro médio geométrico (DMG) em todo perfil do solo em 2018 (Figura 3 – Capítulo 1), o aumento desse parâmetro indica uma maior diferenciação do tamanho de agregados no solo, e por consequência, essa diferenciação junto com o aumento dos teores de carbono orgânico do sistema (Tabela 2), pode ter auxiliado no equilíbrio dos macro e microporos, levando assim a uma modificação na estruturação do perfil. Por se tratar de um sistema heterogêneo, com diversos fatores que podem contribuir para

modificações, pode-se demorar anos até que se encontre uma diferença entre os manejos utilizados, logo sugere-se que os manejos e as avaliações continuem para que se confirmem como é o comportamento do perfil em solos arenosos.

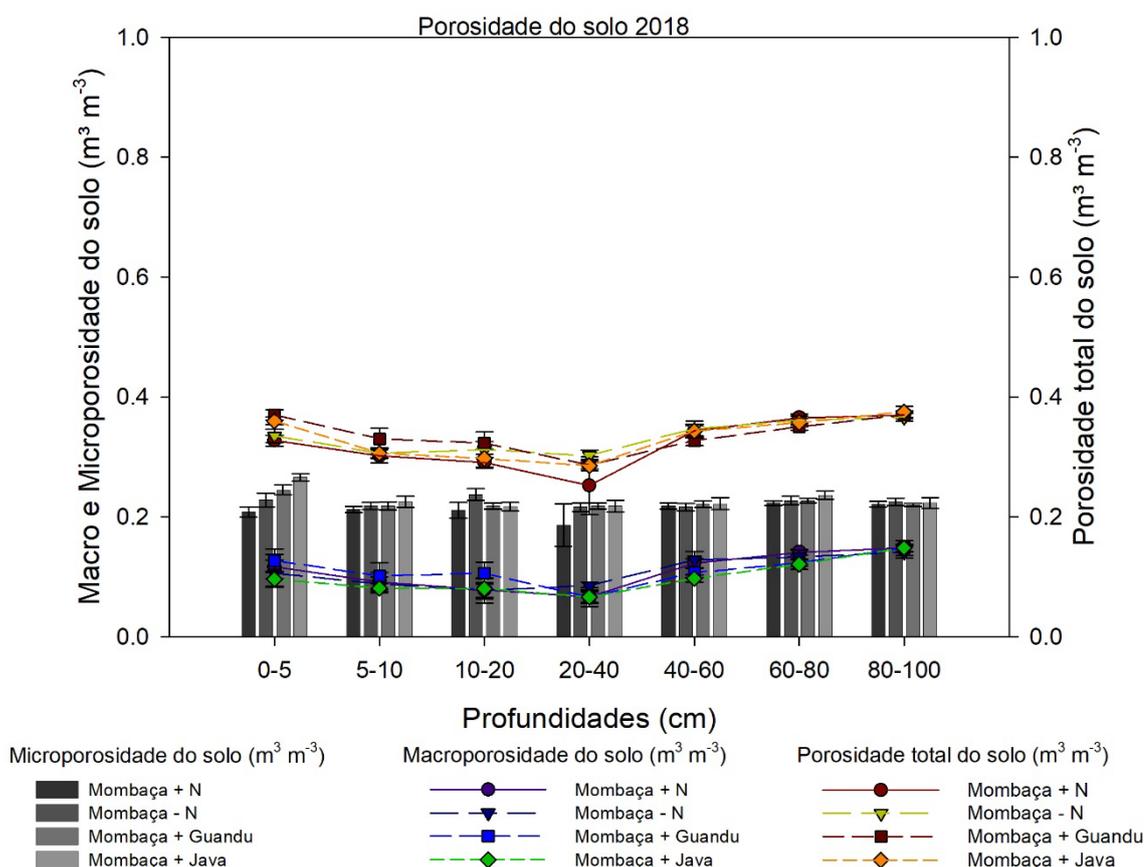


Figura 4. Valores de porosidade total: macro e microporosidade nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, avaliados em 2018.

Tabela 2. Teores de C total (g dm⁻³) nos anos de 2017 e 2018.

Teores de C total (g dm⁻³)						
Manejos 2017						
Profundidades (cm)	M + N	M - N	M + G	M + J	DMS	CV (%)
0-5	11,5 b	12,4 a	11,2 b	11,2 b	0,70	2,7
5-10	10,3	10,3	10,7	10,9	1,01	4,3
10-20	8,3 b	9,2 ab	8,7 ab	9,6 a	1,04	5,2
20-40	6,7	6,5	6,6	6,4	0,94	6,5
40-60	5,7	5,5	5,4	5,4	0,46	3,7
60-80	5,1	4,9	5,0	4,8	0,75	6,6
80-100	4,8	4,5	4,8	4,5	0,56	5,4
Manejos 2018						
Profundidades (cm)	M + N	M - N	M + G	M + J	DMS	CV (%)
0-5	13,4 bc	14,7 ab	12,7 c	15,2 a	1,56	5,0
5-10	10,4	10,5	10,3	12,0	1,86	7,8
10-20	8,9 b	8,0 c	8,3 bc	10,0 a	0,91	4,7
20-40	6,5	5,7	6,0	6,6	1,51	10,9
40-60	4,9	4,8	4,9	5,6	0,99	8,8
60-80	4,2	4,2	4,1	4,6	1,08	11,3
80-100	3,8	4,1	3,9	4,5	1,04	11,4

Letras minúsculas diferem estatisticamente entre colunas. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As avaliações de resistência do solo a penetração (RP) foram feitas sempre após a ocorrência de chuvas, pois a presença de água no solo influencia diretamente a RP. De acordo com Cortez *et al.* (2019), a RP é um parâmetro que estabelece relação com a densidade do solo e o teor de água, ou seja, diferentes camadas do perfil podem ter teores diferentes de umidade do solo.

Não houve diferença significativa entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas em 2017 (Figura 5), sendo que os valores variaram de 2,5 a 3,5 MPa (Figura 5) na camada de 0-10 cm do solo, e em profundidade houve diminuição da RP, fator que corrobora com o volume de raízes (Figura 2A - Capítulo 1) em subsuperfície, indicando assim que, aonde observa-se menor volume de raízes há uma menor RP, podendo assim, prolongar o período de descompactação .

Após a semeadura da soja, em novembro (Figura 1), quando a cultura estava no estágio V4, a RP novamente foi realizada, e também não foi verificada diferença entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 5B), apresentando valores que variam entre 2,5 a 3,5 MPa, e diminuindo em profundidade. Isso indica que a soja, apesar de apresentar sistema radicular pivotante, possui raízes menos rústicas e menor poder de descompactação das

camadas. Estes dados corroboram com os encontrados por Cardoso *et al.* (2006), que verificaram a diminuição da exploração do sistema radicular da soja em perfis com a estrutura compactada que apresentaram valores de resistência oscilando entre 1 a 4,5 MPa na camada de 0-5 cm do solo. Entretanto, a partir da resistência de 2,5 MPa é considerado ambiente compactado para o desenvolvimento de raízes.

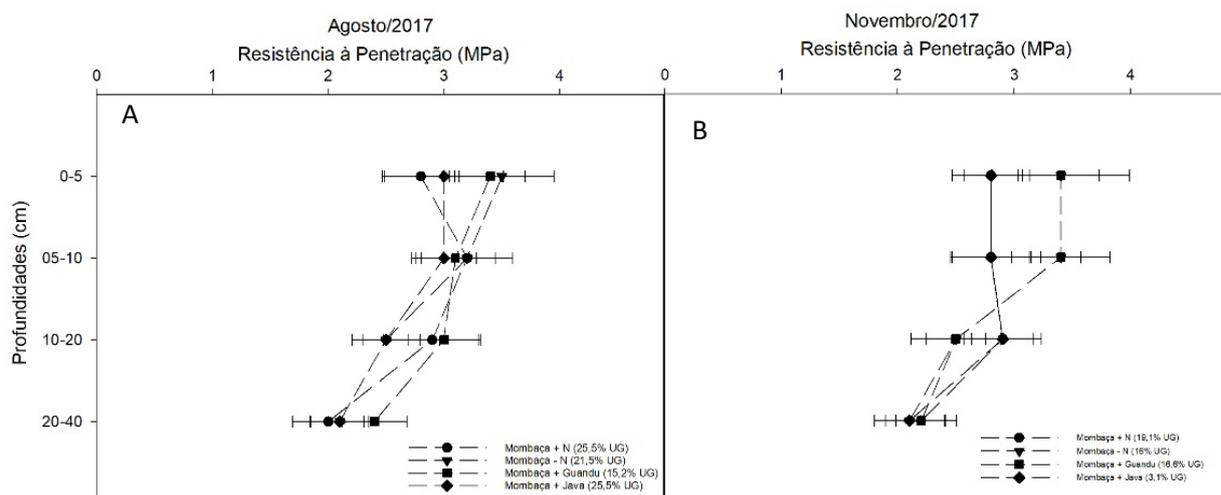


Figura 5. Resistência do solo à penetração em duas épocas diferentes, antes e depois da semeadura da soja na safra 2017/2018.

A resistência do solo a penetração é um parâmetro que está diretamente ligado à produtividade das culturas e, quanto menor a RP do perfil do solo maior será a produtividade da Mombaça (Figura 6) e da soja (Figura 7), corroborando com Carvalho *et al.* (2006), que confirmaram que a resistência a penetração, desenvolvimento de raízes e a produtividade variam de forma inversamente proporcional. Silva *et al.* (2000) afirmaram que o valor crítico de RP para desenvolvimento radicular da soja é de 2,0 MPa, sendo que a partir disso entende-se que o sistema radicular encontra dificuldades de desenvolvimento no solo. Na safra da soja 2017/2018 houve condições favoráveis para a produtividade da cultura da soja (Tabela 3), como bom manejo da fertilidade do solo, índices pluviométricos adequados nos períodos de maior necessidade da cultura (Figura 1) e manejo integrado de pragas e doenças, e com isso obteve-se valores indicando que, mesmo em situações ambientais adequadas, a soja quando submetida a altos valores de RP não consegue expressar todo o seu potencial produtivo, diminuindo assim sua produtividade (Figura 7).

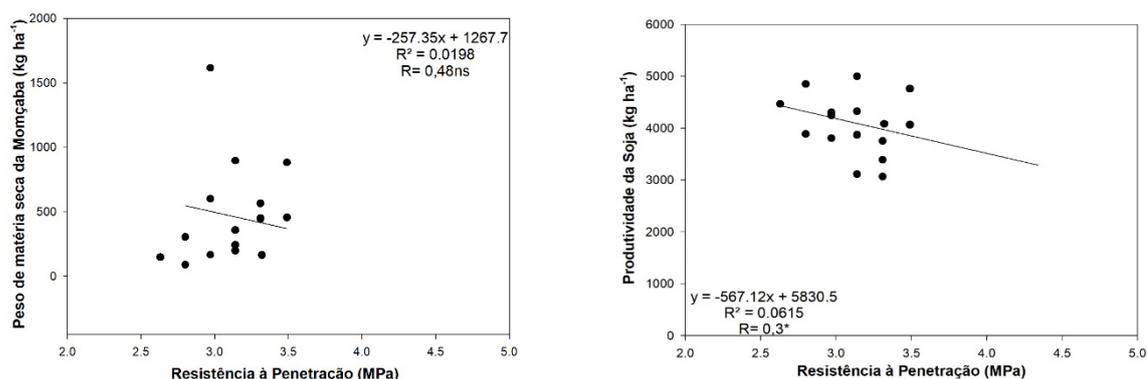


Figura 6. Correlação entre a produtividade da Mombuca na safra 2017 com a resistência do solo a penetração (MPa). **Figura 7.** Correlação entre a produtividade da soja na safra 2017/2018 com a resistência do solo a penetração (MPa).

Após a colheita da soja, houve acompanhamento da estruturação do perfil do solo da área experimental. Em abril de 2018 (Figura 8A), após a retirada da soja e implantação da pastagem, não houve diferença entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas, indicando que alterações no perfil de solo estão em função do tempo de manejo.

Os valores da Figura 8 foram praticamente similares da avaliação anterior, variando entre 2,5 e 3,5 MPa, apresentando tendências de menor RP nos manejos de Mombuca - N e Mombuca + Java, e conforme o aumento de profundidade houve uma diminuição dos valores de RP no perfil. Após dois pastejos do gado na área experimental, em agosto de 2018 (Figura 8B), ocorreu precipitação, e com isso a possibilidade de realizar a avaliação de RP. As avaliações não indicaram diferenças entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas pelo penetrômetro.

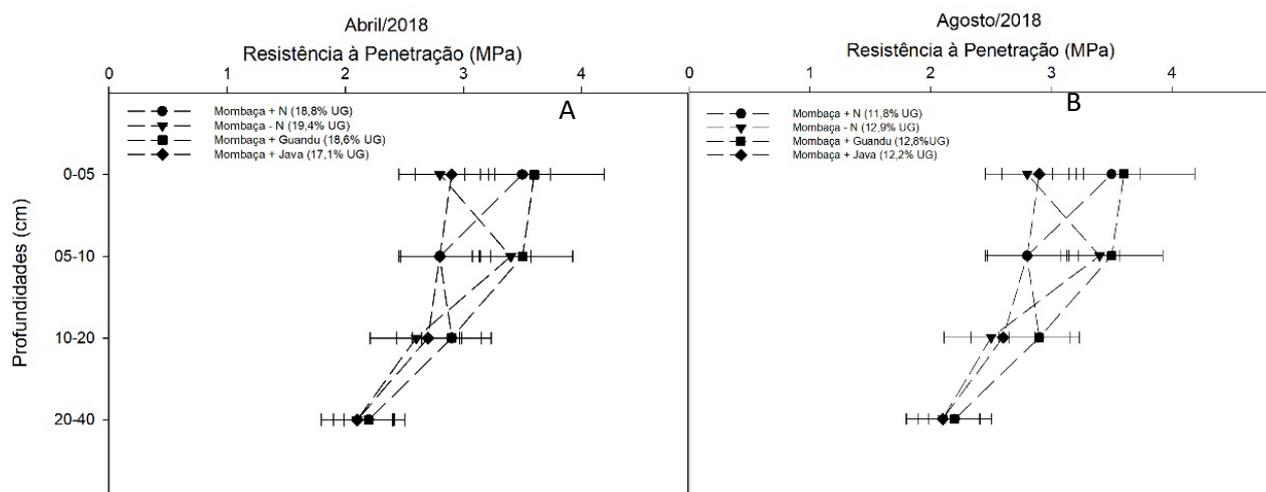


Figura 8. Resistência do solo à penetração em duas épocas diferentes, em abril de 2018 após a colheita da soja e em agosto de 2018, com a pastagem na área experimental.

Após o último pastejo do gado na área experimental e antes da dessecação da pastagem, em outubro de 2018 (Figura 9A), foi realizada a avaliação de RP no solo. Entretanto, mesmo com o pastejo do animal na área, não houve alterações na RP. Por outro lado, apesar da rusticidade do sistema radicular das gramíneas e dos consórcios, ainda não houve uma redução abaixo de 2,0 MPa na RP, valor considerado crítico pela literatura para o desenvolvimento radicular.

Após a implantação da soja na área experimental, quando estava em V3, houve uma nova avaliação de RP (Figura 9B), onde foi observado o mesmo comportamento das avaliações anteriores. Apesar de diversas avaliações durante o período experimental, ainda não é possível afirmar o motivo da demora para modificação na RP, podendo estar relacionado com diversas características naturais do perfil. No entanto, mesmo os níveis de RP serem elevados para os solos arenosos a produtividade de soja atingiu 16% a mais que a média nacional (3.507 kg ha^{-1}) (CONAB, 2021).

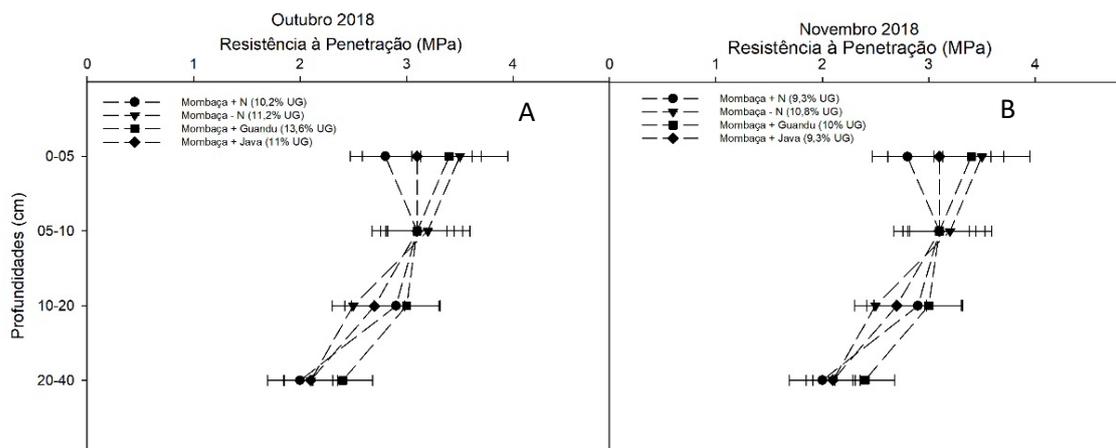


Figura 9. Resistência do solo à penetração em duas épocas diferentes, em outubro de 2018 após o último pastejo do gado na área experimental e em novembro de 2018, com a soja em V3 na área experimental.

No estágio de desenvolvimento R3 da soja (Figura 10) houve uma nova avaliação de RP no solo, e também não foi encontrada diferença entre os manejos em nenhuma das profundidades avaliadas. Os valores de RP continuaram em torno de 2,5 e 3,5 MPa até a profundidade de 10 cm no perfil, aliás, semelhantes aos encontrados por Ralish *et al.* (2008). Os referidos autores afirmaram que em sistemas de semeadura direta, com cerca de dois anos de manejo, obtiveram 3,2 MPa na camada de 0-5 cm, confirmando, assim, a demora para modificação da RP no solo. Em profundidade houve diminuição dos valores de RP, como por exemplo, o solo do manejo Mombaça + N, que apresentou valores de 2,0 MPa na camada de 20-40 cm (Figura 10).

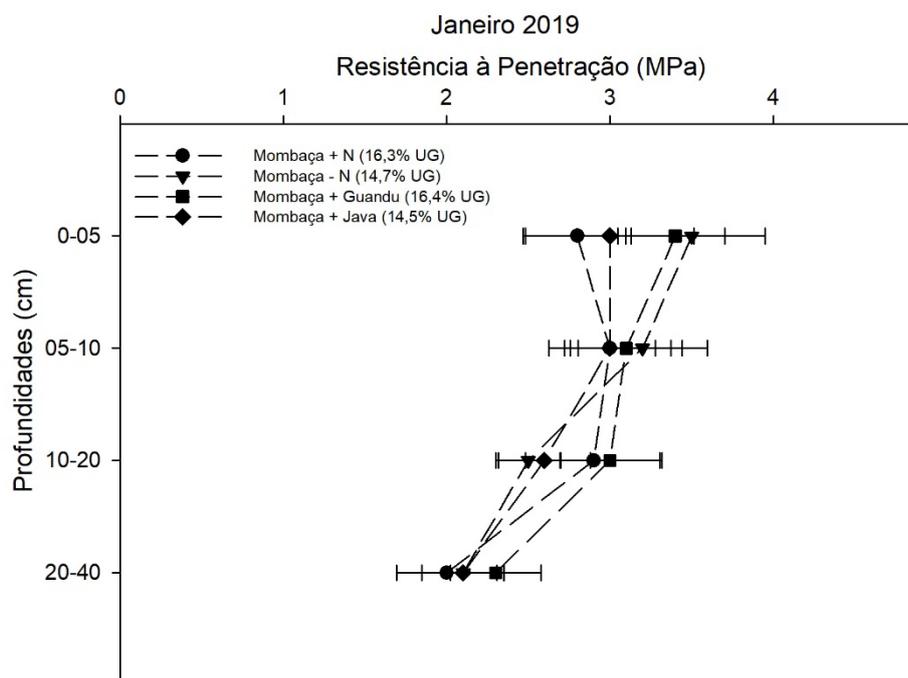


Figura 10. Resistência do solo à penetração em janeiro de 2019, quando a soja estava no estágio R3.

No ano agrícola de 2018/2019, houve um forte veranico de 22 dias entre janeiro e fevereiro (Figura 1), devido a entrada insuficiente de água no perfil a soja sofreu demasiadamente. A produtividade de grãos foi baixíssima devido ao estresse hídrico sofrido pela cultura no estágio R5, destacando que não houve correlação entre a RP e a produtividade (Figura 12). Entretanto, como visto na safra anterior, apesar dos altos valores de RP no perfil, a soja conseguiu alcançar produtividades superiores da média nacional (Tabela 3), indicando que em boas condições climáticas a cultura consegue produzir bem, independentemente da estruturação do perfil. Quando não há restrição hídrica, a presença de camadas levemente compactadas no perfil, como por exemplo densidade do solo menor de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ ou RP menor que $2,0 \text{ MPa}$, não afeta a produtividade do grão e o acúmulo de matéria seca da soja (CARDOSO *et al.*, 2006).

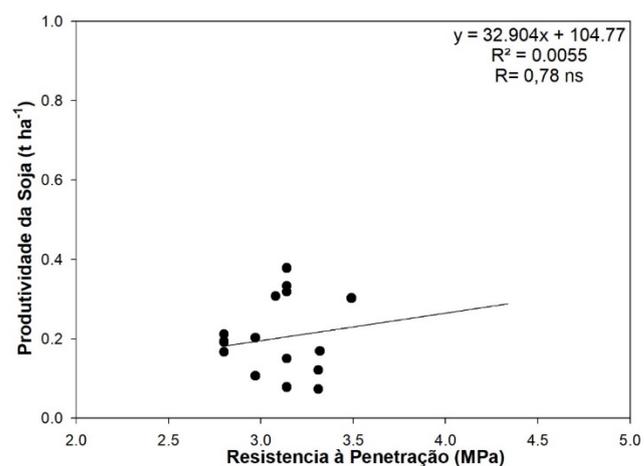
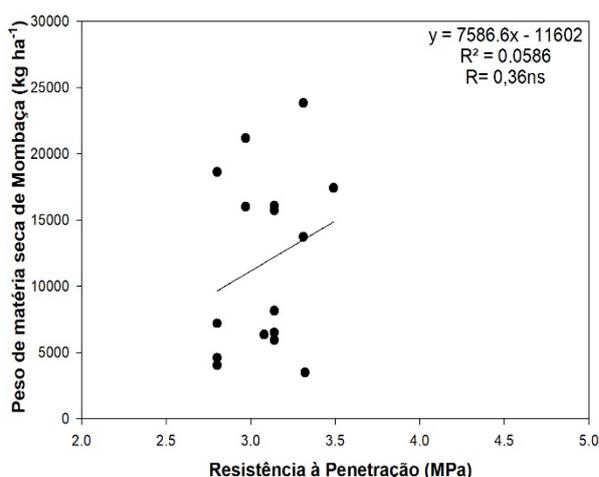


Figura 11. Correlação entre a produtividade da Mombaça na safra 2018 com a resistência do solo a penetração (MPa). **Figura 12.** Correlação entre a produtividade da soja na safra 2018/2019 com a resistência do solo a penetração (MPa).

Não houve diferença na produtividade entre os manejos em nenhum dos anos avaliados, destacando que, a produtividade da soja foi muito discrepante nos dois anos agrícolas avaliados (Tabela 3), devido principalmente ao veranico sofrido no estágio R5 da cultura na safra de 2018-2019 (Figura 1).

Tabela 3. Produtividade da soja nos anos safra 2017-2018 e 2018-2019

Manejos	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	Safra 2017-2018		Safra 2018-2019	
		sc		sc
Mombaça + N	4472,18 a	74,5	137,15 a	2,3
Mombaça - N	4004,59 a	66,7	209,34 a	3,5
Mombaça + Guandu	3687,46 a	61,4	219,75 a	3,6
Mombaça + Java	4078,66 a	67,9	258,77 a	4,3
DMS	1265,99		211,23	
CV (%)	14,12		46,38	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produtividade da Mombaça também foi mensurada nos dois anos avaliados, conforme Tabela 3, sendo realizada em 2017 apenas uma avaliação de produtividade de acordo com o período de avaliação da área experimental. Já em 2018 houve três avaliações, sendo sempre antes da entrada no gado no pasto. Em 2017, devido à diminuição natural de potencial produtivo da pastagem já havia uma

menor produção de biomassa, entretanto, o manejo que recebeu a adubação mineral, Mombaça + N, apresentou valores maiores em relação aos demais. Na safra de 2018, entre fevereiro e setembro, observa-se maior produção de forrageira em todos os manejos avaliados, com destaque nos manejos Mombaça + N e Mombaça + Guandu e foram superiores aos demais.

A partir disso, a consorciação de Guandu se torna uma alternativa de manejo vantajosa, podendo ser utilizada como alimento ao gado e como cobertura ao solo. Observa-se também que, apesar de produzir menos em relação a adubação nitrogenada, quando se opta pelo consórcio Mombaça + Guandu, mesmo após a perda da potencial produtivo da forrageira, esse consórcio ainda é uma opção válida para incremento na produtividade de massa e provavelmente também para aporte de N pela planta, sendo uma ótima opção para consórcio em diferentes fases da forrageira.

Tabela 4. Produtividade da Mombaça submetida a diferentes consórcios e adubação nitrogenada mineral na área experimental, safras 2017 e 2018.

Manejos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Safra 2017	Safra 2018
Mombaça + N	938,2 a	36.789,5 a
Mombaça - N	345,7 ab	13.453,0 b
Mombaça + Guandu	415,6 ab	31.768,5 a
Mombaça + Java	196,0 b	11.163,5 b
DMS	622,8	7223,95
CV (%)	59,5	14,0

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A sucessão de culturas e o manejo contínuo do sistema apresentou modificações nos parâmetros de micro, macro e porosidade total e também densidade do solo, tornando o perfil mais equilibrado no segundo ano de avaliação.

O consórcio de gramíneas com leguminosas não proporciona a redução imediata dos índices densidade do solo. A porosidade total do solo não se diferiu entre os sistemas de manejos, no entanto, os teores de carbono no solo foram maiores no sistema da mombaça consorciada a Java.

A resistência do solo a penetração não apresentou mudanças, como era esperado, demonstrando assim ser um parâmetro de modificações a longo prazo. Além disso, a produtividade da forragem foi incrementada nos sistemas de mombaça com N e mombaça consorciado ao Guandu.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq Agropec Bras.**, v.41, n.3, mar. 2006.
- CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto, **Rev Bras Eng Agríc Ambient.**, v.10, n.3, jul./set. 2006.
- CONAB. **Série safras históricas**. 2021. Disponível <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- CORTEZ, J. W.; MORENO, C. T. M.; FARINHA, L. S.; ARCOVERDE, S. N. S.; VALENTE, I. Q. M. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um sistema de semeadura direta. **Científica**, v.47, n.2, p.175-182, 2019.
- DIEL, J.; VOGEL, H. J.; SCHLÜTER, S.; Impact of wetting and drying cycles on soil structure dynamics. **Geoderma**, v.345, p.63-71, jul. 2019.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solo, 1997. 212 p.
- FACHI, S.; M; GUIDINI, D.; GIERTYAS, J.; DAL MORO, D. Alteração na distribuição das classes de poros em amostras indeformadas de solos retiradas com diferentes extratores. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 9. **Anais [...]**. Setembro, 2016.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Rev Bras Ci Solo**, v.31, n.4, jul./ago. 2007.
- RALISH, R.; MIRANDO, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um latossolo vermelho amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Rev Bras Eng Agríc Amb.**, v.12, n.4, jul./aug. 2008.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Rev Bras Ci Solo**, v.32, n.5, set./out. 2008.

RICHARDS, L. A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Sci.**, v.68, p.95-112, 1949.

RODRIGUES, M.; WITHERS, P. J. A.; SOLTANHEISI, A.; VARGAS, V.; HOLZCHUH, M.; PAVINATO, P. S. Tillage systems and cover crops affecting soil phosphorus bioavailability in Brazilian Cerrado Oxisols. **Soil Tillage Res**, v.205, 104770, jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104770>.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ci Rural**, v.30, n.5, set./out. 2000.

SIRMANSKY, V.; JURIGA, M.; JONCZAK, J.; UZAROWICZ, L.; STEPIEN, W. How relationships between soil organic matter parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of sandy soil. **Geoderma**, v.342, p.75-84, may 2019.

STOLF, R. Fórmulas de transformação dos dados do penetrômetro de impacto em força/unidade de área. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990. **Anais [...]**. Piracicaba: SBEA, 1990. v.2, p.823-836.

TOPP, G. C.; GALGANOV, Y. T.; BALL, B. C.; CARTER, M. R. Soil water desorption curves. *In*: CARTER, M. R. (Eds.). **Soil sampling and methods of analysis**. Flórida: Lewis Publishers, 1993. p. 569-79.

WALIA, M. K.; DICK, W. A. Selected soil physical properties and aggregate-associated carbon and nitrogen as influenced by gypsum, crop residue, and glucose. **Geoderma**, v.320, p.67-73, jun. 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sucessão de culturas e o manejo de consórcios em integração lavoura-pecuária confirmou que, o solo, quando manejado intensamente sem espaço para pousio, durante longos períodos, apresenta melhorias na fertilidade em todo o seu perfil. Além disso, a presença de diferentes raízes no perfil melhora as características físicas, mesmo que lentamente.

Apesar de contribuir para a ciclagem de nutrientes, através da decomposição de raízes no perfil, a renovação da pastagem não é algo eficaz para o aumento da biomassa de raízes no perfil. Logo, em regiões como o Oeste Paulista, de solos tropicais com baixos teores de argila, é eficaz manter a pastagem por um período maior, sempre focando na manutenção das adubações, para uma melhoria nos parâmetros físicos do perfil.

A adubação mineral de N no sistema mostrou-se mais eficiente na produtividade de massa verde da forrageira, mesmo ela sendo cultivada há três anos agrícolas, concluindo assim que, quando feita de maneira correta, a adubação com N mineral é extremamente eficaz e tem bom retorno das gramíneas, além de mostrar um incremento na produtividade da soja, na área que houve a adubação do sistema.

A entrada da soja no processo de renovação mostrou-se extremamente benéfica para o sistema, devido a entrada de novas raízes no perfil, e também a presença de uma palhada diferente da gramínea, fazendo com que a pastagem seja beneficiada, além de gerar uma renda extra para o agricultor.

A modificação dos parâmetros físicos do perfil é percebida de forma gradativa no sistema, mesmo quando há a entrada de diferentes culturas, consorcio e também diferentes formas de adubação. Porém, quando se faz um manejo sustentável, buscando aumento de produtividades, precisa-se de cautela, pois os bons resultados podem levar anos para aparecer, e podem ser perdidos em poucos meses, confirmando assim que o tempo é um verdadeiro aliado na melhoria das características do solo.

Os parâmetros químicos também sofreram modificações com o bom manejo do perfil, melhorando assim o ambiente radicular em subsuperfície, e também elevando teores de Carbono no perfil, o que é benéfico para todo o sistema de manejo.

ANEXO



Figura 1. Consórcio Mombaça + Guandu.



Figura 2. Forrageira Java.



Figura 3. Animais em pastejo na área experimental.



Figura 4. Abertura de trincheiras com a minirretroscavadeira tipo bobcat.



Figura 5. Monolito de ferro com tamanho de 10x10x10 cm (AxLxC).



Figura 6. Castelinho de ferro e anel de inox para retirada de amostra indeformada de solo.



Figura 7. Momento de sementeira da soja em área experimental



Figura 8. Soja em estágio V5 sob palhada de Mombaça na área experimental.



Figura 9. Avaliação de Resistência à Penetração em Soja (Estádio V3).



Figura 10. Coleta de agregados no solo.



Figura 11. Peneiras do tamisador para separação de agregados em 5 classes de tamanhos



Figura 12. Extratores de Richards.



Figura 13. Amostras indeformadas sob placa porosa de Richard.