



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA

MARIANA GOMES VIEIRA

INDICATIVOS DA VIABILIDADE TÉCNICA E SOCIAL DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS COMO PRÁTICA CONSERVACIONISTA DO SOLO E DA
ÁGUA

FORTALEZA

2021

MARIANA GOMES VIEIRA

INDICATIVOS DA VIABILIDADE TÉCNICA E SOCIAL DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS COMO PRÁTICA CONSERVACIONISTA DO SOLO E DA ÁGUA

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

Coorientadora: Prof. Dra. Maria Lúcia de Sousa Moreira

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V716i Vieira, Mariana Gomes.
Indicativos da viabilidade técnica e social de sistemas agroflorestais como prática conservacionista do solo e da água / Mariana Gomes Vieira. – 2021.
67 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
Coorientação: Profa. Dra. Maria Lúcia de Sousa Moreira.
1. Sistema agroflorestal. 2. Dinâmica radicular. 3. Difusão tecnológica de SAFs. I. Título.
- CDD 630
-

MARIANA GOMES VIEIRA

INDICATIVOS DA VIABILIDADE TÉCNICA E SOCIAL DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS COMO PRÁTICA CONSERVACIONISTA DO SOLO E DA ÁGUA

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 25/01/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Maria Lúcia de Sousa Moreira (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Francisco Tavares Forte Neto
Engenheiro Agrônomo
Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará

Rafaela Batista Magalhães
Engenheira Agrônoma
Mestre em ciências do Solo pela Universidade Federal do Ceará

Aos meus pais, Fátima (*in memoriam*) e Nonato que desde a infância me ensinaram que a herança de maior valor para a posteridade é a educação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria de Fátima Gomes Vieira (*in memoriam*) e Raimundo Nonato Vieira, por me darem todo o suporte, amor, força e confiança para o meu desenvolvimento pessoal e intelectual durante esses anos. Esse trabalho é de vocês.

À toda minha família, em especial Adriana, Ronaldo e Ideuza, além dos tios Elenice, Antenora, Iramir, Mundinho, Wellington, Ortência, Franklin (*in memoriam*) Rosaete e Nilton, pelo apoio incondicional e por demonstrar a força resultante de uma família construída baseada no amor.

À Prof. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa por todos os ensinamentos, pela orientação exemplar e por ter sido uma pessoa compreensiva e amiga acima de tudo.

À Prof. Dra. Maria Lúcia de Sousa Moreira por ter me mostrado a esfera social da agronomia, além do cuidado, carinho e compreensão em todos os momentos difíceis.

Aos meus grandes amigos e companheiros de graduação Leonardo, Luiza, Maria Alice, Aristides, Laís, Alexandre, Mara, Mariane e Edilene pelos momentos de companheirismo, afeto e diversão, proporcionando tamanha leveza em meio às dificuldades da graduação.

Ao Programa Residência Agrária e ao PET Agrárias, por me dar a oportunidade de trabalhar com a extensão rural universitária, além de fortalecer o meu desenvolvimento pessoal. Em especial, aos meus queridos companheiros de bolsa Neto Forte, Ana Vitória, Melina, Matheus, Amanda, Lígia, Cíntia e Érica.

Ao Grupo Agroecológico da UFC, por me apresentar a perspectiva agroecológica, seus debates e preciosos ensinamentos, em especial os queridos Luiz Tiago, Lucas Fernando, Lucas Lopes, Nilo, Adão e Ruan, Lua e Rita.

À Federação dos Estudantes de Agronomia do Brasil (FEAB) e ao Centro Acadêmico Dias da Rocha, por fomentar o meu pensamento crítico e conhecimento de que a agronomia também é um espaço de luta. Em especial os queridos amigos Daniel, Ruggeri, Glauber, Gabriel, Anderson e Beatriz.

À querida equipe do Laboratório de Manejo do solo e da água, em especial a técnica Deyse Maia e a doutoranda Rafaela Batista, por possibilitar as técnicas para a produção deste trabalho, além dos momentos maravilhosos de interação.

Aos queridos amigos da Coringa Agrofloresta, pela oportunidade maravilhosa de poder estudar os Sistemas Agroflorestais na prática, por todos os conhecimentos adquiridos e pelo

grande carinho, em especial os queridos Simone, Luciana, Luciano, Raquel, Dudu, Seu Valdir, Ylder, Neldo e Nem e Namastê Messerschmidt.

Aos meus grandes amigos Vanessa, Heitor, Lucas Lopes, Davi, Diego, Rodrigo, Fabio, Cardoso e Natan, por toda a força nos momentos difíceis, amor, compreensão, paciência e ensinamentos acima de tudo.

À minha querida companheira de pesquisa Vitória Ricarte, pela amizade maravilhosa, além da ajuda e estímulo para eu conseguir terminar esse trabalho.

À mim mesma, por não ter desistido apesar das adversidades.

“Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”

Ana Maria Primavesi

RESUMO

Com o processo de evolução das civilizações, a dinâmica agrícola se demonstrou cada vez mais prejudicial para a manutenção de solos saudáveis. Visando abrandar impactos antrópicos nesse meio, são propostas cada vez mais intervenções menos danosas e de cunho conservacionista, uma delas é o Sistema Agroflorestal, método que propõe aliar produção diversificada de alimentos, regeneração ambiental e alta geração de renda para os seus praticantes. Tendo isso em mente, o presente trabalho objetiva analisar aspectos indicativos da viabilidade dos SAFs como sistema conservacionista do solo e da água, a partir da análise de atributos radiculares (comprimento, área superficial, diâmetro médio, massa seca, densidade radicular e densidade de massa de raízes), estoque de carbono e nitrogênio na camada superficial de 0-10 do meio, além de contribuir com a perspectiva social de importância da difusão desse modelo para os agricultores e o meio ambiente. Para isso, foi proposta a coleta de amostras de solo e raízes (processadas por meio de processamento digital de imagens mediante o uso do software winrhizo) em uma área da Coringa agrofloresta localizada em Trairi (CE), além da descrição de ações que corroboram com a difusão dos SAFs. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, considerando duas espécies do sistema (*Gliricidia sepium* e *Musa spp.*) e em quatro distâncias horizontais (10, 20, 30 e 40 cm) em relação à projeção da copa, representando o fatorial 2x4, totalizando 32 amostras. Foi realizada a análise de variância, teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparar as espécies e análise de regressão para avaliar as distâncias. A bananeira apresentou maior desenvolvimento radicular do que a gliricídia na camada de 0-10 cm. Ambas as espécies apresentaram diminuição de raízes com o aumento da distância em relação a projeção da copa. Para a bananeira não houve alteração nos estoques de C e N com o aumento da distância, porém para a gliricídia o estoque de N foi maior aos 10 cm, devido ao fato da ocorrência de nódulos ser maior na raiz principal. Na parte social, as estratégias de difusão e troca de saberes de conhecimento agroflorestal demonstraram-se essenciais para que ocorra o estímulo para esse modelo.

Palavras-chave: Sistema agroflorestal; Dinâmica radicular; Difusão tecnológica de SAFs.

ABSTRACT

With the process of evolution of civilizations, agricultural dynamics proved to be increasingly harmful to the maintenance of healthy soils. In order to mitigate anthropic impacts in this environment, less harmful and conservationist interventions are increasingly proposed, one of them is the Agroforestry System, a method that proposes to combine diversified food production, environmental regeneration and high income generation for its practitioners. With this in mind, the present work aims to analyze aspects indicative of the viability of AFs as a soil and water conservation system, based on the analysis of root attributes (length, surface area, average diameter, dry mass, root density and mass density of roots), carbon and nitrogen stock in the 0-10 surface layer of the medium, in addition to contributing to the social perspective of the importance of disseminating this model for farmers and the environment. For this, it was proposed to collect soil and roots samples (processed through digital image processing using winrhizo software) in an area of Coringa agroforestry, located in the municipality of Trairi, north-central of the state of Ceará, in addition to the description of actions that corroborate the dissemination of AFs. The design was performed in randomized blocks, with four replications, considering two species of the system (*Gliricidia sepium* and *Musa* spp.) and in four horizontal distances (10, 20, 30 and 40 cm) in relation to the canopy projection, presenting the 2x4 factorial, totaling 32 samples. With the data obtained, analysis of variance was proposed using Tukey's test at 5% probability, in order to compare means. The study showed that within the agroecosystem the banana plant showed greater root development than the leguminous gliricidia tree in the 0-10 cm layer, however, both species showed a decrease in roots as the canopy projection distance increased. Banana showed no change in C and N stocks with increasing distance, but gliricidia changed in the 10 cm projection for nitrogen stock, due to the fact that the occurrence of nodules was greater in the main root. On the social side, strategies for disseminating and exchanging agroforestry knowledge proved to be essential for encouraging this model to occur.

Keywords: agroforestry system; root dynamics; technological diffusion os AFs.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Práticas conservacionistas do solo e da água.....	15
2.2	Sistemas agroflorestais.....	16
<i>2.2.1</i>	<i>Tipos de sistemas agroflorestais.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Componentes de sistemas agroflorestais.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2.1</i>	<i>Competição entre componentes.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2.2</i>	<i>Sistema radicular de componentes de SAFs.....</i>	<i>20</i>
2.3	Métodos de estudo do sistema radicular (coleta e análises).....	21
2.4	Carbono orgânico e nitrogênio no solo de sistemas agroflorestais.....	23
<i>2.4.1</i>	<i>Influência dos componentes do Sistema Agroflorestal no aporte de carbono e nitrogênio.....</i>	<i>24</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Determinação do estoque de carbono e nitrogênio.....</i>	<i>25</i>
2.5	Metodologia agroflorestal e seu papel na construção da consciência ambiental dos agricultores.....	26
2.6	Importância das formas de transferência de tecnologia e difusão dos sistemas agroflorestais.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Descrição do local de estudo e tipo de solo.....	30
3.2	Estudo das raízes e dos estoques de carbono e nitrogênio.....	34
<i>3.2.1</i>	<i>Delimitação experimental.....</i>	<i>34</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Coleta de amostras.....</i>	<i>34</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Avaliações.....</i>	<i>35</i>
<i>3.2.4</i>	<i>Análise estatística.....</i>	<i>38</i>
	Estudo das iniciativas de transferência de tecnologia para os agricultores e sociedade.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Atributos radiculares.....	40
4.2	Sequestro de carbono e nitrogênio.....	52

4.3	Iniciativas de transferência da tecnologia agroflorestal.....	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6	REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da evolução das civilizações, foram estreitadas as relações entre homem e natureza, derivando-se principalmente de suas necessidades alimentares. Como consequência, as metodologias agrícolas de uso e ocupação do solo foram adaptadas em busca da máxima produtividade nos locais explorados. Contudo, em decorrência de modelos invasivos provenientes da Revolução Verde, passou-se a notar a diminuição da qualidade dos solos.

Dentre as causas principais do comprometimento dos atributos dos solos agrícolas estão as técnicas de manejo com uso incorreto de maquinaria, agrotóxicos e fertilizantes minerais, além da irrigação inadequada, dentre outras práticas degradantes. Como resultados da adoção de práticas inadequadas, constata-se efeitos nas esferas ambientais e socioeconômicas. O uso adequado de práticas conservacionistas permite reduzir o nível da degradação antrópica, pois essas práticas são baseadas em princípios como acúmulo de matéria orgânica, proteção da superfície do solo e consequente melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos dos solos.

As práticas conservacionistas se subdividem em mecânicas, edáficas e vegetativas. As práticas vegetativas consistem no uso de culturas para interceptar a precipitação, reduzir a evaporação e o escoamento superficial, além de incorporar carbono orgânico no solo, sendo os Sistemas Agroflorestais (SAFs) uma alternativa exequível. Os SAFs podem ser conceituados como consórcios entre plantas de diferentes ciclos que, por meio de arranjos predefinidos, têm seu desenvolvimento beneficiado, simulando a dinâmica de uma floresta.

Como há possibilidade de diferentes arranjos de SAFs, é importante que existam indicativos de sua viabilidade para condições edafoclimáticas distintas, considerando a interação entre espécies que constituem os sistemas. As características das espécies vegetais interagindo com o meio físico e o manejo do sistema resultarão em distribuição radicular distinta que, por sua vez, influenciará o potencial de absorção de água e nutrientes e na competição entre plantas. As espécies vegetais também apresentarão potenciais distintos de aporte de carbono ao solo e de alterações em atributos físicos, influenciando o estoque de carbono e a dinâmica da água no solo.

Diante da explanação anterior, observa-se que há indicativos da viabilidade dos SAFs que estão associados a alternativas de manejo adaptáveis às demandas dos agricultores, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto das características do local em que o sistema

está inserido. A análise destes indicativos contribui com as ações de transferência de tecnologia para difundir a adoção dos SAFs.

Esta pesquisa baseia-se nas seguintes hipóteses: a) O solo na área de influência de frutífera herbácea semi-perene (bananeira) apresenta mais raízes na camada superficial do que na área de influência do componente arbóreo-arbustivo (gliricídia) usado como adubador do sistema; b) O solo na área de influência de frutífera semi-perene recebe maior aporte de carbono e nitrogênio devido às podas periódicas da parte aérea do componente arbóreo-arbustivo, resultando em maiores estoques desses elementos; c) Na medida em que se afasta da projeção da copa da frutífera semi-perene e do componente arbóreo-arbustivo, há redução na quantidade de raízes na camada superficial do solo, no aporte e no estoque de carbono e nitrogênio.

O estudo teve como objetivo principal analisar aspectos indicativos da viabilidade de um sistema agroflorestal como prática conservacionista do solo e da água a partir de atributos radiculares e de estoques de carbono e nitrogênio na camada superficial do solo. Na área de influência de frutífera semi-perene (bananeira) e de componente arbóreo-arbustivo (gliricídia), em distâncias distintas em relação à projeção da copa das plantas, foram analisados: a) Atributos radiculares (massa seca, comprimento, diâmetro e densidade radicular); b) Teores de carbono e nitrogênio; e c) Estoques de carbono e nitrogênio. Adicionalmente, foram descritas formas de transferência de tecnologia para a difusão dos SAFs, com base nos indicativos determinados, e determinados os fatores que favorecem e limitam a implementação dos SAFs.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante do desenvolvimento do ser humano ao longo do tempo, a humanidade aperfeiçoou as técnicas agrícolas visando prioritariamente progredir seus hábitos alimentares. Para Gómez-Espinoza e Gómez-González (2006), nos primórdios, perante a construção da relação homem e natureza, eram formados conhecimentos agrícolas tradicionais que, passados entre gerações, garantiam a autonomia de famílias desfavorecidas. Por terem ampla afinidade com suas áreas, era exercida uma agricultura de técnicas intrínsecas ao local, o que muitas vezes favorecia cautela no uso e ocupação do solo.

Com a inserção da agricultura no sistema capitalista, a percepção acerca dos propósitos agrícolas foi modificada, passando de sistemas de subsistência para negócios. Segundo Tolentino (2016), as principais ideias disseminadas pela Revolução Verde propagavam um ideal de progresso baseado na industrialização da esfera agrícola. Para Alves (2014), as tecnologias difundidas durante as décadas de 1960 e 1970 visavam principalmente o incremento produtivo das lavouras. Os mecanismos utilizados contavam com a adesão de maquinários, fertilizantes minerais, agrotóxicos, dentre outros.

Por meio disso, sucedeu-se a utilização desses insumos que, empregados de maneira incorreta, ocasionam diversos efeitos negativos no meio edáfico. Há também o fato de que a homogeneização das técnicas em diferentes localidades pode não ser funcional, visto que há heterogeneidade de fatores como clima, vegetação e tipos de solo. De acordo com Altieri (2012):

Um dos principais problemas decorrentes da homogeneização dos sistemas agrícolas é o aumento da vulnerabilidade dos cultivos a pragas e doenças, que podem ser devastadoras se infestam uma cultura uniforme, especialmente em grandes plantações. Para proteger essas culturas, grandes quantidades de agrotóxicos cada vez menos eficazes e seletivos são jogados na biosfera acarretando custos ambientais e humanos consideráveis (ALTIERI, 2012, p. 26).

Apesar disso, Filho (2013) corrobora que a sustentabilidade no âmbito agrícola foi iniciada no passado, derivada principalmente da rotina de pousios prolongados entre dois cultivos, permitindo assim a recuperação da vegetação de origem e da fertilidade do solo. Levando isso em consideração, ao longo do tempo foram propostas práticas que minimizam os efeitos negativos da intervenção humana, tais como as práticas de conservação do solo e da água.

2.1 Práticas conservacionistas do solo e da água

Práticas conservacionistas são técnicas para prevenir as perturbações do solo e para proporcionar sua recuperação (PES e GIACOMINI, 2017). Permeado por efeitos da crise ambiental que se instala no planeta, o uso de práticas conservacionistas vêm sendo cada vez mais recomendado visando frear a degradação. Segundo Miccolis *et al.* (2016), os ecossistemas naturalmente possuem capacidade de recuperação e reestruturação de seu arranjo após perturbações. Nestas circunstâncias, há a possibilidade do ser humano servir como catalisador do processo, por meio da introdução e manejo de espécies, além de cuidados com o meio edáfico e mananciais hídricos.

As práticas conservacionistas diferem de acordo com o mecanismo escolhido para conter os danos à área. Quando se deseja utilizar o próprio solo como condicionador de prevenção ou recuperação, são feitas práticas edáficas. Neste caso, o solo é enriquecido, tendo em vista a melhora da sua fertilidade, ou prevenido de eventos que afetem a mesma. Zonta *et al.* (2012) mencionam que a adubação verde, adubação orgânica e a restrição de queimadas são exemplos que podem ser adotados.

Já quando o objetivo é conter a velocidade do escoamento da água por meio de impedimentos físicos, podem ser utilizadas práticas mecânicas. De acordo com Zonta *et al.* (2012), a principal técnica mecânica citada é a construção de terraços. Há também a possibilidade de se plantar em curvas de nível ou utilizar cordões de pedra.

Ao se utilizar a vegetação como ferramenta principal para resguardar e impulsionar o solo, são feitas práticas vegetativas. A principal aplicação de plantas como artifício protetor baseia-se no seu uso como cobertura do solo, minimizando assim a possibilidade de ocorrer erosão. Para Pes e Giacomini (2017), outro benefício da vegetação está no fato de melhorar a infiltração de água no solo devido à geração de canais, à medida que as raízes das plantas senescem. Além disso, há incremento de carbono, estímulo à ciclagem de nutrientes, redução de ervas daninhas e controle da temperatura e da água no solo. Como exemplos de práticas vegetativas, podem ser citados o plantio de cobertura, o reflorestamento e os sistemas agroflorestais.

2.2 Sistemas agroflorestais

Sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser definidos como a utilização de espécies agrícolas, lenhosas perenes e animais dentro de uma mesma zona agrícola, inseridas em uma organização espacial e temporal. Historicamente, a técnica de se plantar árvores e culturas agrícolas em consórcio prevaleceu em diferentes pontos do planeta ao longo dos séculos (NAIR *et al.*, 2010). Povos ancestrais, como quilombolas e indígenas, tradicionalmente se utilizavam de processos que remetem ao funcionamento dos sistemas agroflorestais (NETO *et al.*, 2016).

O uso sábio e moderado dos processos de renovação possibilitou que os povos da América deixassem um legado de solos de imensa fertilidade e SAFs de majestosa biodiversidade. Estes eram tão integrados aos processos naturais, que os portugueses não puderam compreender que as “florestas virgens” que viam por todo o canto, eram na realidade SAFs manejados pelos povos indígenas (NETO *et al.*, 2016, p. 69).

Apesar de ter raízes históricas ligadas aos povos primitivos, os SAFs ganham cada vez mais adesão como prática do futuro, apesar de que, para Miccolis *et al.* (2016), estudos científicos acerca dos sistemas só começaram a ser feitos nos últimos 50 anos. Dentre os benefícios proporcionados pelos SAFs, está o papel substancial na regulação dos serviços ecossistêmicos, como por exemplo o controle da erosão, a regulação dos ciclos hídricos, adequação às alterações climáticas, maior presença de biodiversidade, estímulo à maior ciclagem de nutrientes e aumento nos estoques de carbono nos solos (MICCOLIS *et al.*, 2016).

Ao se tratar do incremento do estoque de carbono nos agroecossistemas, Albretch e Kandji (2003) discorrem que este elemento pode ser contido tanto no solo quanto na biomassa das plantas. Os autores ressaltam que o acúmulo de carbono ao longo do tempo é apenas um tópico da dinâmica, sendo sua destinação final o ponto determinante do “sequestro”. No ato de implantação do sistema, seus componentes serão fontes de gases do efeito estufa (GEEs), posteriormente haverá a fase de acumulação nos troncos, raízes, galhos e solo, seguido do final do ciclo onde a área será renovada. Portanto, o fomento de carbono no sistema só poderá ser efetivo caso o saldo elementar seja positivo após todas as fases que compõem o fenômeno.

Ultrapassando a análise ambiental, Silva (2000) corrobora que os SAFs também contribuem para melhorias socioeconômicas como o incremento da geração de renda imediata e rápida reintegração do capital inicial investido. Isso ocorre porque o sistema é composto por indivíduos de diferentes ciclos que, ao longo da sua evolução, vão sendo colhidos em épocas distintas como, por exemplo, as culturas de ciclo curto e médio, gerando estabilidade financeira para os praticantes ao longo do ano. Srivastava e Srivastava (2019) corroboram o fato de que a

diversidade de cultivos reduz o risco de lapso econômico do produtor visto que, caso uma das culturas decaia ou o preço abaixe no mercado, o agricultor terá outras opções para venda ou subsistência.

Além disso, os SAFs proporcionam segurança e soberania alimentar para os praticantes que, em conjunto com o bem viver, incitam uma melhor qualidade de vida. Para Paludo e Costabeber (2012) o sistema agroflorestal é uma importante ferramenta de fomento da agricultura familiar, visto que possibilita a diminuição da pobreza rural por ser amplamente compatível com diversos biomas brasileiros.

É importante ressaltar que os SAFs são extremamente relevantes por considerarem, em contrapartida a outros modelos de recuperação, fatores como as potencialidades do local e instâncias da população envolvida, o que fomenta a possibilidade de continuidade do modelo e difusão para outros indivíduos (MICCOLIS *et al.*, 2016). Nesse contexto, é importante considerar que há possibilidades distintas de arranjos de SAFs permitindo constituir modelos que, no processo de difusão tecnológica, serão considerados mais ou menos adequados a partir de indicativos de viabilidade.

2.2.1 Tipos de sistemas agroflorestais

Segundo Miccolis *et al.* (2016), há designações distintas de SAFs a depender dos produtos de maior relevância que serão obtidos. O nível de tecnologia e manejo empregados também varia. São encontrados tanto sistemas singelos com pouca biodiversidade e baixo manejo, assim como sistemas multifacetados e altamente manejados.

Dentro da classificação de acordo com a natureza dos componentes, Medrado (2000) cita a classificação silvipastoril, que engloba os sistemas compostos pela interação entre animais (pastagem) e espécies silviculturais. Matoso e Salman (2016) discorrem que existem grandes vantagens para os sistemas silvipastoris, envolvendo bem-estar térmico para os animais, progresso na qualidade e quantidade de forragem e o aumento da fertilidade química do solo. Miccolis *et al.* (2016) contudo, frisam que é necessário atentar para a argumentação de que animais domésticos, por meio do pisoteio, podem prejudicar a estrutura do solo. Logo, existe a necessidade de se ajustar o modelo silvipastoril, chegando em equilíbrio do número certo de animais para que não ocorra danos.

Quando se trata da interação entre componentes florestais juntamente com culturas agrícolas e a presença de animais, Medrado (2000) classifica como sistemas agrossilvipastoris.

Segundo Almeida (2010), cada componente presente no sistema gera diferentes benefícios. As culturas anuais, por disporem de ciclos mais curtos, mitigam os custos iniciais do sistema e ainda oferecem o saldo restante da adubação para os elementos agroflorestais e forrageiros. Já os elementos florestais promovem grande influência no microclima, por conseguinte, influenciando no bem-estar animal, o que incrementa a produção pecuária.

Medrado (2000) ainda aponta a possibilidade de se trabalhar com culturas agrícolas e espécies silviculturais, chamados de sistemas agrossilviculturais (ou agroflorestais). Para Ribeiro *et al.* (2017), o sistema citado é predominantemente usado para fornecer madeira para produção de energia, gerando itens como lenha, carvão vegetal e seus resíduos, além dos aspectos proporcionados pelas culturas anuais citados anteriormente. Dentro dessa esfera, há a modalidade de aléias (alley cropping), que consiste no arranjo de cultivos de árvores em filas ou blocos de fileiras, espacialmente feito para acomodar o crescimento arbóreo, intercalados com vegetais, grãos, forragens etc. Essa combinação pode ser feita tanto em linhas retas como em curvas, tratando-se da segunda opção como uma alternativa viável para frear a velocidade da água e diminuir a incidência do processo erosivo (SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2019).

2.2.2 Componentes de sistemas agroflorestais

Ao classificar os SAFs de acordo com a natureza dos seus elementos, Nair (1985) apresenta três componentes principais que podem ser manejados pelo homem: herbáceo (culturas agrícolas), arbóreo e animal.

No âmbito dos sistemas agrossilviculturais, onde são manipulados os componentes herbáceo e arbóreo, o primeiro é de extrema importância pois contribui para a melhor utilização dos estratos verticais. Isso ocorrer por meio do maior incremento de biomassa vegetal, da geração de uma gama de produtos diversos como culturas alimentares, medicinais e ornamentais e por proporcionar maior predisposição do produtor de se integrar ao manejo agroecológico. Essa maior integração se dá pelo fato de que injúrias causadas por pragas e doenças podem ser distribuídas na ampla diversidade de espécies, minimizando o dano na cultura principal (VIERA; SCHUMACHER; LIBERALESSO, 2011).

Um constituinte herbáceo de grande destaque no fomento de fertilidade em SAFs é a Bananeira (*Musa spp.*). Miccolis *et al.* (2016) cita que devido à presença significativa de água e nutrientes (sobretudo potássio) em seu tecido vegetal, a espécie contribui para que outros

elementos do sistema progridam. Para isso, deve ser feito o corte e a deposição de suas partes no solo, o que favorecerá a microbiota e impedirá o aparecimento de plantas daninhas no local.

Levando em consideração o papel do componente arbóreo, Kichel *et al.* (2014) demonstram que este elemento é de grande relevância para a produção de madeira de qualidade, possibilitando assim a substituição de madeiras provenientes de florestas naturais, muitas vezes caracterizadas por um manejo indiscriminado.

O integrante arbóreo contribui em outras funções do sistema, como o aproveitamento de nutrientes localizados em camadas mais profundas do solo, devido ao grande volume explorado pelas suas raízes, e o emprego como quebra-vento. Porfírio-da-Silva *et al.* (2015) reiteram a funcionalidade deste componente como grande atuante no processo de fixação de carbono atmosférico.

Para além disso, o elemento arbóreo pode atuar como facilitador do enriquecimento do sistema. Krainovic (2008) aponta a possibilidade de se utilizar leguminosas arbóreo-arbustivas em SAFs visando incrementar a fertilidade do solo. Uma das plantas que podem ser utilizadas neste processo é a Gliricídia (*Gliricidia sepium*), caracterizada por seu rápido crescimento e uso diverso. Por meio da poda de suas partes vegetativas, ocorre a captação de fitomassa que, distribuída nas entrelinhas ou parcelas do sistema, viabiliza o aporte significativo de nutrientes, principalmente nitrogênio (DE SOUSA; PICANÇO, 2008).

Ademais, há a possibilidade de o componente arbóreo prover fontes de alimento. Xavier *et al.* (2012) discorrem que, na região norte do país, há a predominância de SAFs constituídos de espécies de palmeiras, lenhosas e frutíferas como o genipapo e açai.

2.2.2.1 Competição entre componentes

Filius (1982) demonstra que os componentes de sistemas agroflorestais podem prover diferentes tipos de interação entre si, dentre elas a complementaridade, a suplementaridade, o antagonismo e a competitividade. A relação complementar acontece quando um elemento do sistema incrementa o desenvolvimento do outro, já a suplementar ocorre quando a espécie não gera interferências no outro cultivo. A interação antagônica é apontada como a impossibilidade de se combinar certas espécies e a competição é marcada pela concorrência de recursos essenciais para o progresso da espécie. Diante da diversa pluralidade que pode ser adotada ao se fazer o planejamento dos SAFs, é de suma importância atentar ao manejo correto do sistema produtivo visando evitar potenciais relações negativas.

De acordo com Bernardes *et al.* (2009), ao ocorrer a introdução de espécies arbóreas no meio, sucedem-se novas relações entre os componentes do sistema. Devido a utilização de recursos como nutrientes, água e radiação solar, um possível potencial de competição entre as espécies inseridas pode ser gerado (ONG; HUXLEY, 1996).

Para evitar que ocorra competição entre os componentes, segundo Bernardes *et al.* (2009) é necessário ponderar acerca das espécies escolhidas, sua distribuição no espaço e no tempo além de considerar o meio edafoclimático na qual serão introduzidas. Os autores também reiteram a possibilidade de diminuir o potencial competitivo por meio de podas. O corte da parte aérea poderá ser feito considerando a fase de crescimento vegetativo da espécie ou o período sazonal de menor aquisição de recursos como, por exemplo, o período seco do ano. A partir disso, há a possibilidade de diminuir a competição e fomentar a complementaridade das espécies disponíveis.

Para analisar o potencial de competição e complementaridade do sistema agroflorestal é importante entender a dinâmica e distribuição das raízes dos componentes, assim como as alterações ocorridas de acordo com a disponibilidade de água e nutrientes.

2.2.2.2 Sistema radicular de componentes de SAFs

Levando em consideração a diferença entre os estratos das espécies utilizadas nos sistemas agroflorestais, a área de solo explorada pelos mesmos diverge de acordo com o tipo de planta (VAN NOORDWIJK *et al.*, 2015). A ocupação radicular em SAFs é caracterizada pela presença das raízes de culturas anuais na porção superficial do solo, enquanto os elementos perenes, incluindo as espécies arbóreas, exploram camadas mais profundas do meio, tanto lateralmente quanto verticalmente (Van NOORDWIJK *et al.*, 2015). Em vista disso, o componente radicular das árvores pode ser responsável pela interceptação de água e nutrientes que percolam no perfil do solo e se encontram abaixo da zona de enraizamento das culturas anuais, além de atuar como agente estimulador da intemperização da rocha mãe (ONG *et al.*, 2014).

Há a possibilidade de as raízes de árvores funcionarem como fonte propulsora de nutrientes. De acordo com Sarvade *et al.* (2019), o bombeamento de nutrientes no sistema agroflorestal é governado pelas raízes de elementos arbóreos, onde esse recurso é captado pela “rede de segurança”, impulsionado pelo sistema vascular das plantas até a parte aérea e depois

redistribuído pela deposição de matéria orgânica. A partir disso, o material sofrerá decomposição e ocorrerá a liberação dos nutrientes no solo.

Balaya *et al.* (2008) demonstram que o componente radicular também auxilia na função de provedor da redistribuição hidráulica no meio, processo no qual a água das camadas mais profundas é redistribuída no segmento mais seco do perfil, seja verticalmente ou lateralmente.

Conjuntamente com o que foi citado, as raízes também são elementos importantes no processo de aporte de carbono no solo. Segundo Loss *et al.* (2011), a combinação das técnicas de SPD (Sistema de Plantio Direto) e Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em áreas degradadas de lavouras contribui para o incremento dos atributos do solo, como por exemplo teores de carbono, aeração e infiltração de água, motivado pela presença das raízes e da palha derivadas da pastagem. Os benefícios citados são potencializados pela inserção de forrageiras no sistema, visto que estas espécies geram uma maior acumulação de carbono, em comparação com as culturas agrícolas, as quais a fitomassa gerada é escassa e não proporciona a cobertura desejada (LOSS *et al.*, 2011).

2.3 Métodos de estudo do sistema radicular (coleta e análises)

O componente radicular traz informações importantes sobre as plantas e o meio no qual elas estão inseridas. Quando se trata das condições do solo, as raízes são boas indicadoras, podendo gerar pareceres acerca do manejo (correto ou não), além de processos de compactação, adensamento, dinâmica nutricional e hídrica, dentre outros (PRIMAVESI, 2016). De acordo com Ratke *et al.* (2019) é fundamental o desenvolvimento de estudos com enfoque no assunto, mas há menos trabalhos abordando as raízes do que a parte aérea, o que ocorre devido às dificuldades em avaliar a parte da planta que está sob o solo.

Para adquirir informações das raízes, é necessário implementar processos importantes como a amostragem e conseqüente análise do material. No que concerne à coleta do material radicular, existem diferentes tipos de amostragem. Dentre os métodos mais empregados no Brasil para avaliação de raízes lavadas, são destacados o uso dos monólitos e da sonda. Já para estudo das raízes no perfil do solo considera-se o uso do rhizotron e da trincheira (VOLK *et al.*, 2011).

Köpke (1981) descreve o método dos monólitos como sendo a remoção da amostra no formato de monólito do solo, de onde serão recolhidas as raízes para posterior lavagem e análises. Essa metodologia, apesar de prover maior veracidade aos resultados por envolver uma

amostra mais representativa do volume de solo ocupado por raízes, é mais trabalhosa e demorada. Como alternativa pode ser utilizada a sonda amostradora, que é uma ferramenta que ao ser inserida no solo permite a retirada de amostra contendo solo e raízes em um volume conhecido, mas menor em relação ao obtido na retirada dos monólitos. Este procedimento é bastante viável, visto que é de fácil utilização, gerando menos esforço para o operador facilitando assim a quantificação de raízes em um pequeno volume de solo (SILVA-OLAYA *et al.*, 2017). Contudo, de acordo com Vasconcelos *et al.* (2003) pode haver a superestimação do valor de raízes. Para evitar esta problemática pode-se aumentar o número de subamostras no momento da coleta.

Após a coleta, é imprescindível fazer a análise para a obtenção de atributos radiculares. Considerando o nível de detalhamento da análise, pode-se utilizar estratégias mais simples para a obtenção de dados, como por exemplo a medição da massa seca, assim como métodos mais complexos como o da intersecção de Tennant. Por meio deste método, é possível determinar o comprimento de raízes posicionadas em uma superfície plana, com o auxílio de grade onde serão relacionadas as intercepções, tanto verticalmente como horizontalmente, estabelecendo resultados com mais rapidez e agilidade (TENNANT, 1975).

Rodrigues (2019) corrobora o fato de que, devido ao fato dos estudos das interações entre solo e planta serem amplamente complexos, é necessário empregar métodos que visem diminuir as adversidades envolvidas nesta temática, aumentando a precisão das análises e minimizando os custos. Para isso, podem ser exploradas ferramentas tecnológicas que envolvam o processamento digital de imagens (PDI) (NAME *et al.*, 2015).

Existe uma gama de mecanismos, dentre eles está o software SAFIRA (Sistema de Análise de Fibras e Raízes), proposto por Jorge e Rodrigues (2008) objetivando, em sua essência, medir o comprimento de raízes, sendo caracterizado principalmente pelo fato de ser um aparato de livre acesso. Há também o software Winrhizo, lançado em 1993, tendo como premissa avaliar o comprimento total, área projetada, área de superfície etc. Ele é de fácil utilização, todavia é um recurso pago (ARSENAULT *et al.*, 1995).

Levando em consideração o que foi dito anteriormente, Ratke *et al.* (2019) constata a relevância dos métodos de estudo das raízes, na medida em que elas prestam papel essencial em funções fundamentais, como a absorção de água e nutrientes, assim como na formação da matéria orgânica. Consequentemente, o manejo que favoreça o aporte de raízes contribui também para o aumento dos estoques de carbono e nitrogênio no meio edáfico (LOSS *et al.*, 2011; JUNIOR *et al.*, 2012).

2.4 Carbono orgânico e nitrogênio no solo de sistemas agroflorestais

Segundo Cogo *et al.* (2012), um dos pontos principais para se analisar no processo de averiguação da qualidade do solo é o teor de carbono, sobretudo por ser um indicador de acompanhamento do progresso do meio ao longo do tempo. As quantidades de carbono orgânico no solo (COS) podem variar de acordo com o tipo de manejo adotado, de modo que algumas práticas são relevantes para sequestrar carbono e assim atenuar o aquecimento global por meio do uso mais sustentável em comparação ao convencional.

Práticas convencionais de uso do solo ocasionam a oxidação da matéria orgânica, fomentada por três causas principais: quebra dos agregados e a consequente exposição do carbono, geralmente ocasionado pela utilização de maquinários, lixiviação do carbono e processos erosivos causados pela água (LAL, 2002). Enquanto práticas conservacionistas, muitas vezes caracterizadas pela deposição de material vegetal em superfície, têm papel fundamental no controle da erosão e na incorporação deste material (HERNANI, 1999). Logo, os SAFs se apresentam como uma estratégia importante no processo de sequestro de carbono.

Além da presença do carbono, outro importante elemento a ser aportado nos sistemas agroflorestais é o nitrogênio. A presença deste elemento pode ser representada, em grande parte, pelo grupo de espécies leguminosas que, por meio da associação simbiótica com bactérias, promovem a fixação biológica do nitrogênio atmosférico no solo (FRANCO *et al.*, 2011).

Segundo Franco *et al.* (2011) parte das potencialidades deste grupo podem ser explicadas pela boa adaptação aos diversos biomas brasileiros. Siqueira e Franco (1988) explanam que o processo de fixação é de grande importância, pois a combinação promovida pelas plantas e bactérias pode incorporar até $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio.

É relevante ressaltar que o nitrogênio, juntamente ao fósforo, são os elementos mais limitantes para a fundação e evolução vegetal no meio (SIQUEIRA E FRANCO, 1988). Considerando a presença de leguminosas dentro dos sistemas, a expressividade deste grupo se dá principalmente pela possibilidade de suprir o balanço de nitrogênio das mesmas, podendo inclusive complementar parte da exigência das plantas ao seu redor, como é o caso da soja (ALVES *et al.*, 2000).

2.4.1 Influência dos componentes do sistema agroflorestal no aporte de carbono e nitrogênio

Lima *et al.* (2011) apontam que para analisar a eficácia dos sistemas agroflorestais é importante indicar como o mesmo interfere nos processos edáficos e na disponibilidade de nutrientes para as culturas. Neste seguimento, análises quantitativas para examinar os teores e os estoques de elementos, como carbono e nitrogênio, são essenciais para avaliar os efeitos dos agentes envolvidos no sistema de produção.

Para Nair *et al.* (2010), o sistema agroflorestal é uma metodologia que apresenta a possibilidade de captar quantias consideráveis de carbono, visto que, ao ocorrer o progresso metabólico e o aumento da fotossíntese, a planta tende a capturar maior quantia deste elemento. Todavia, a capacidade de captação é regida por inúmeros fatores, tais como as espécies inseridas, a categoria do sistema, manejo utilizado, a idade das plantas, condições locais, posição geográfica, etc (JOSE, 2009).

Levando em consideração os integrantes do sistema, nota-se que componentes arbóreos possuem alta capacidade de integrar carbono no solo. Kater *et al.* (1992) corroboram o fato de que amostras de solo colhidas na área abaixo da copa das árvores em SAFs detiveram teor de carbono superior às amostras retiradas em áreas descobertas.

Nair *et al.* (2010) apontam que a parcela de carbono sequestrada pelo solo em uma determinada localidade retrata a harmonia, a longo prazo, dos mecanismos de liberação e captação de carbono. Esse aporte poderá ser feito tanto pela parte aérea quanto pelas raízes das plantas. O carbono proveniente das raízes possui maior facilidade de ser estabilizado no solo, em comparação com o carbono derivado da parte aérea da planta (RASSE *et al.*, 2005). Com isso, constata-se que em SAFs o teor de carbono é maior em camadas mais profundas próximas às árvores do que longe delas (NAIR *et al.*, 2010).

Há também a contribuição de carbono proveniente dos elementos herbáceos. Miccolis *et al.* (2016) indicam que gramíneas como capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) possuem importante papel no aporte de carbono devido à sua biomassa, podendo ser boa opção de cobertura do solo, visto que o carbono em sua estrutura promoverá decomposição mais lenta do material, favorecendo inclusive a proteção do solo por mais tempo.

Atentando-se ao nitrogênio, segundo Franco *et al.* (2011), a contribuição deste elemento ao solo feita por espécies arbóreas pode ser expressa por meio de funções protetivas e

produtivas. A quantidade de nitrogênio aportada é dependente de fatores inerentes à espécie e conexões bióticas e abióticas incluídas no processo de fixação (FRANCO E BALIEIRO, 2000).

Exemplificando as espécies arbóreas importantes para a adição do nitrogênio ao solo, Paula *et al.* (2015) citam a gliricídia (*Gliricidia sepium*) e a acácia (*Acacia angustissima*) como bons representantes. Os autores corroboram que o maior acúmulo de biomassa aconteceu após a primeira poda, ocorrida aproximadamente um ano depois da instalação do experimento, chegando a demonstrar 30,90 e 35 g/kg de nitrogênio na biomassa seca foliar da gliricídia e da acácia, respectivamente. Pode-se citar também o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) como arbórea significativa na deposição de material da serrapilheira, alcançando valores de até 8,8 Mg ha/ano, sendo mais expressiva do que a acácia e a gliricídia, que obtiveram valores semelhantes de 3,3 Mg ha/ano (COSTA *et al.*, 2004).

A contribuição ao aporte de nitrogênio ao solo também pode ser feita por componentes arbustivos, como é o caso da crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e feijão-guandú (*Cajanus cajan*), por meio da técnica de adubação verde, onde as mesmas podem ser colocadas em consórcio com as culturas de interesse, incorporadas ao solo ou depositadas na superfície (SILVA *et al.*, 2012; ESPÍNDOLA *et al.*, 1997).

2.4.2 Determinação do estoque de carbono e nitrogênio

Para a determinação dos valores de estoque de carbono e nitrogênio, primeiramente é necessário obter os teores desses elementos. Visando adquirir os teores de carbono no solo, existem métodos distintos baseados na combustão por via seca e via úmida. Na combustão por via seca, a oxidação do carbono ocorre pelo emprego de altas temperaturas, proporcionando o dimensionamento do carbono total presente no solo. Essa técnica pode ser manipulada com o auxílio da mufla ou do analisador elementar (SIGNOR *et al.*, 2014). O método propicia resultados precisos, contudo nota-se escassez de laboratórios que possuam o analisador elementar para a análise (GATTO *et al.*, 2009).

A Combustão por via úmida, de acordo com Signor *et al.* (2014), consiste na utilização de dicromato de potássio como substância digestora da matéria orgânica em meio ácido, oxidando o carbono e, conseqüentemente, transformando-o em CO₂, conhecido também como método de Walkley-Black (EMBRAPA, 2009). Gatto *et al.* (2009) dissertam que esse método é o mais utilizado na esfera brasileira, em detrimento da sua acessibilidade. Todavia, embora

seja a metodologia mais empregada, apresenta limitações por gerar resíduos contendo cromo, além de minimizar os valores de carbono total (CHATTERJEE *et al.*, 2009).

Já para a obtenção dos valores de nitrogênio comumente se utiliza a metodologia de digestão Kjeldahl com ácido sulfúrico em alta temperatura. Nesta técnica, as amostras são submetidas à destilação a vapor com adição de NaOH para transformação da amônia (NH₃) em amônio (NH₄⁺), posteriormente as partículas são carregadas para solução com ácido bórico e indicadores, sendo feita em seguida a titulação para avaliar o teor de N (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Questionamentos são levantados em relação à determinação do teor de carbono no solo devido à sua pouca sensibilidade para avaliar os efeitos de sistemas de manejo do solo, conforme descreve Leite *et al* (2003). Tendo isso em mente, em alguns casos é preferível que seja feita a análise do estoque.

O valor do estoque de um elemento é dado pelo cálculo do teor do mesmo (em g/kg de solo), juntamente com a densidade do solo analisado (em kg/m³) em uma profundidade específica (em cm), como exemplificado por Soares *et al.* (2021). Utilizando o carbono como exemplo, Novais *et al.* (2007) dissertam que o tipo de manejo utilizado no sistema é condição determinante nas variações dos estoques desse elemento, podendo decorrer o aumento do mesmo em áreas cultivadas, em comparação com os valores verificados no mesmo solo sob a vegetação nativa.

É necessário ponderar, todavia, ao fato de que há a possibilidade de os valores altos de estoque dos elementos serem resultantes da alteração na densidade do solo analisado, levando à ocorrência de interpretações incorretas desses valores (JANTALIA *et al.*, 2006). Casos como esse podem ser demonstrados em solos que sofreram processos de compactação, onde ocorre a diminuição da porosidade total e consequente aumento da densidade do solo (RICHART *et al.*, 2005), acarretando assim o possível acréscimo dos valores do estoque, porém sem representar benefícios em termos da qualidade física do solo.

2.5 Metodologia agroflorestal e seu papel na construção da consciência ambiental dos agricultores

Segundo Atanásio e Gonçalves (2012), a crise climática e suas adversidades são, em grande parte, causadas pela liberação dos gases do efeito estufa (GEE), derivado de ações

antrópicas. Como proposta mitigadora, os autores citam o exemplo da compensação das emissões por meio da remoção da atmosfera e posterior armazenamento na biomassa terrestre.

Tratando a modalidade de produção agrícola familiar como ferramenta relevante no sequestro de GEEs, Gomes e Cardoso (2021) demonstram que a potencialidade desses sistemas está associada à sua grande diversidade vegetal, gerando alta biomassa e promovendo a proteção dos solos, ocasionando assim maior sequestro de carbono atmosférico e a promoção de sistemas mais resilientes às oscilações climáticas. Neste âmbito, os SAFS propostos na dinâmica familiar demonstram ter papel significativo neste processo.

Aliando a esfera agrícola à socioeconômica, há a possibilidade do manejo agroflorestal fomentar o retorno financeiro para os agricultores envolvidos por meio do pagamento de serviços ambientais (PSA) e créditos de carbono. Araraki (2014) propõe que a ação do pagamento por serviços ambientais é importante tanto na cadeia de produção como na de consumo, visto que o método gera a colaboração entre o ambiente e a esfera econômica enquanto simultaneamente proporciona a conservação do capital natural. Contudo, primeiramente, é necessário valorar esses serviços, etapa estratégica para integrar os agricultores que se utilizam desse tipo de manejo (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Ampliando a discussão acerca da estruturação de uma nova consciência ambiental camponesa, a possibilidade de se propor a transição agroecológica, diminuindo o processo da adubação mineral e priorizando meios mais ecológicos, é bastante significativa por meio da utilização das espécies leguminosas. Espíndola *et al.* (2010) descrevem, por meio da metodologia de avaliação de impactos, a experiência de capacitação dos agricultores acerca do uso da tecnologia das leguminosas. A capacitação foi proveniente de visitas e contatos com experiências externas, conduzidas por instituições de ensino e pelos próprios agricultores.

Os resultados provenientes do uso das espécies proporcionaram melhorias nos indicadores ‘‘geração de renda’’, ‘‘diversidade de fonte de renda’’, visto que algumas espécies introduzidas eram de uso alimentar, e ‘‘valor da propriedade’’, procedente de uma maior conservação dos recursos naturais. Notou-se também o incremento no desenvolvimento das olerícolas cultivadas, oriundo do saldo de nitrogênio aportado no solo. Em relação à avaliação dos impactos ambientais, notou-se a diminuição do volume utilizado para a irrigação, além da melhoria da capacidade produtiva do solo por meio do incremento nutricional de nitrogênio no meio (ESPÍNDOLA *et al.*, 2010).

2.6 Importância das formas de transferência de tecnologia e difusão dos sistemas agroflorestais

A construção de saberes agroflorestais é fundamentada na perspectiva de compartilhamento de experiências e técnicas, principalmente por se tratar de entendimentos provenientes de gerações passadas, a qual era trabalhada por quilombolas e indígenas. Ao utilizar este tipo de metodologia, frequentemente nota-se o processo de releitura de ideias e experiências por parte das famílias camponesas, em junção com suas respectivas histórias pessoais, fortalecendo o elo entre a herança cultural e a compreensão dos sistemas naturais (NETO *et al.*, 2016).

Dentre as experiências positivas, Steenbock *et al.* (2013) retratam a vivência agroflorestal da Cooperafloresta, a associação dos Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo e Adrianópolis. Nascida em 1991, a associação teve seu início orientado por agricultores incentivados pelo intercâmbio de saberes com Ernst Gotsch. A partir disso, eles articularam práticas mediante a utilização da metodologia campesino a campesino, viabilizando assim a multiplicação da práxis agroflorestal (NETO *et al.*, 2016). Neto *et al.* (2016) citam a importância da recuperação das práticas de mutirões no fortalecimento organizacional da associação, fomentando principalmente a consolidação da construção coletiva de saberes e da ajuda comunitária.

A metodologia de campesino a campesino, ou camponês a camponês, propõe o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis em paralelo com a melhoria de vida dos agricultores, por meio da difusão de conhecimentos dirigida por eles. O método surgiu na América Latina, derivado principalmente do entendimento de que os processos e táticas apontados pela Revolução Verde na década de 60 e 70 não eram efetivos para conter o avanço da pobreza rural nos países latinos. Nele, é estabelecido o reconhecimento dos ‘agricultores faróis’, indivíduos que dispõem de experiência agroecológica, disseminando-a por meio de intercâmbios de saberes (HOLT-GIMÉNEZ, 2008; CAETANO *et al.*, 2015).

Abordando a difusão de conhecimentos agroflorestais como táticas pedagógicas, Macedo e Vieira (2019) demonstram a importância da propagação e da prática dos sistemas no meio escolar, particularmente em turmas do ensino médio de duas escolas. Foram realizadas reuniões com professores, gestora escolar e a coordenação a fim de adaptar a proposta para a realidade escolar. Posteriormente, houve a implementação de quatro etapas: 1) apresentação do projeto via mesa redonda, 2) visita da comunidade escolar ao SAF presente no campus da

UESB, 3) troca de experiências e planejamento dos consórcios empregados e 4) preparo do solo e plantio das mudas. As etapas descritas anteriormente foram realizadas por alunos do primeiro ano do ensino médio.

No projeto citado acima foram envolvidos 200 estudantes, além das equipes pedagógicas e colaboradores dos colégios. Resultante dessa ação, houve a colheita e posterior utilização dos alimentos na alimentação escolar, além da troca de experiências entre as duas escolas, colaborando para a formação ambiental e interpessoal dos alunos. A partir disso, nota-se que os SAFs são bons modelos de ‘laboratórios verdes’, promovendo tanto prática agrícola como a geração da criticidade, respeito e consciência ambiental nas escolas, essencial para a formação desses jovens (ASSMAN, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local de estudo e tipo de solo

O estudo foi realizado em sistema agroflorestal pertencente à Coringa Agrofloresta, localizado em Trairi (CE), distante 140 Km da capital Fortaleza. A localização geográfica da área de estudo tem como latitude $3^{\circ} 16' 30.5''$ (S) e longitude $39^{\circ} 18' 14.7''$ (W) (Figura 1).

Figura 1. Imagem de satélite da propriedade.



Fonte: Google Earth (2021).

Segundo o IPECE (2012), o clima da área de estudo é tropical quente semiárido brando, contendo a pluviosidade anual de 1.588,8 mm e a temperatura média de 28° C. O município de Trairi é marcado pela presença de Neossolos Quartzarênicos distróficos e Latossolos Vermelho-Amarelo (IPECE, 2012). As características físicas e químicas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo da área de estudo estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm

Profundidade	Na	K	Mg	Ca	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	PST
Cm	cmol _c dm ⁻³									%		
0-20	0,08	0,09	0,51	0,85	0,03	1,90	1,53	1,55	3,43	44,61	1,61	2,26
20-40	0,05	0,05	0,24	0,41	0,03	1,07	0,75	0,77	1,82	41,09	3,23	2,58
Profundidade	pH _{H2O}	N	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO	CO	Argila	Areia	Silte
Cm	-	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				dag kg ⁻¹		%			
0-20	5,75	0,59	16,06	10,10	0,82	40,32	22,74	1,57	0,91	0,97	93,6	5,44
20-40	6,02	0,30	10,09	55,82	0,47	28,45	37,84	0,70	0,41	1,56	93,65	4,80

1

Fonte: elaborada pela autora.

¹ Para a caracterização química e granulometria, foram retiradas duas amostras compostas da parcela de produção, nas profundidades de 0-20 e 20-40.

Tabela 2 – Atributos físicos do solo na área de influência das copas de bananeira e gliricídia na profundidade 0-10 cm.

Amostra	Densidade	CC	PMP	Ucc	Upmp	AD
-	kg dm ⁻³	G		cm cm ⁻³		
Bananeira	1,038	0,212	0,157	0,218	0,161	0,057
Gliricídia	1,028	0,283	0,196	0,278	0,191	0,087

2 3

Fonte: elaborada pela autora.

² Para a caracterização física foram retiradas quatro amostras indeformadas sujeitas, posteriormente, ao teste de retenção de água em Câmara de Richards com placas porosas de cerâmica, onde foram saturadas, submetidas a diferentes pressões e pesadas para, de acordo com a metodologia de Teixeira et al. (2017), estimar a retenção na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

³ CC = capacidade de campo, PMP = ponto de murcha permanente, Upmp = umidade no ponto de murcha permanente e AD = água disponível.

A propriedade em que foi realizado o estudo apresenta 45 ha que estão divididos em parcelas de produção com distintos objetivos e períodos de desenvolvimento das espécies cultivadas. A parcela de produção em que foi realizado o presente estudo é denominada “Safão”, apresenta 2.964 m², possui leve declividade e foi implantada em outubro de 2019 (Figura 2A). Na implantação, o solo da área de estudo foi enriquecido com pó de rocha (200g/m), calcário (100g/m) e cama de frango (2000g/m), por meio da aplicação à lanço. Após a implantação do talhão, foi feita a cobertura do solo com madeira triturada. A área vem sendo manejada por meio de práticas de manejo agroflorestal, como a poda e deposição dos resíduos orgânicos no solo, principalmente capim-tanzânia (*Panicum maximum cv. Tanzânia-1*), margaridão (*Tithonia diversifolia*), mamona (*Ricinus communis L.*), gliricídia (*Gliricidia sepium*), bananeira (*Musa spp.*) dentre outros.

Figura 2. Implantação do sistema por meio de mutirão agroflorestal



Fonte: a autora (A: Implantação do sistema em outubro de 2019; B: desenvolvimento do mesmo após um ano e nove meses).

O “Safão” teve seu croqui desenvolvido com enfoque nas espécies mogno africano (*Khaya ivorensis*) e algumas frutíferas. Durante os meses iniciais, a área foi manejada a cada três meses devido a presença de hortaliças nas entrelinhas, intensificando o manejo. Com o passar do desenvolvimento, as práticas de manejo passaram a ser feitas a cada quatro ou seis meses devido à inserção de espécies como cacau, açaí e capim-tanzânia e a saída de espécies de ciclo curto do sistema. Atualmente o sistema conta com mais de 20 espécies, sendo a gliricídia e a bananeira o foco de análise deste trabalho.

3.2 Estudo das raízes e dos estoques de carbono e nitrogênio

3.2.1 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em fatorial 2x4 com quatro repetições, totalizando 32 unidades amostrais. O primeiro fator de tratamento foi constituído por duas espécies do SAF (bananeira e gliricídia), enquanto o segundo fator foi constituído por 4 distâncias em relação à projeção da copa de cada espécie (0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm). Os blocos foram constituídos pelas linhas produtivas do sistema, apresentando no total 149 indivíduos da espécie gliricídia e 75 da bananeira.

3.2.2 Coleta de amostras

Amostras de solo contendo raízes foram coletadas por meio de sonda amostradora que apresenta 100 cm de comprimento, diâmetro interno de 4,5 cm e graduação a cada 10 cm, gerando amostras com o volume total de 159 cm³ (Figura 3). A coleta de solo e raízes foi feita na área de influência radicular da gliricídia e da bananeira, partindo da planta em direção à entrelinha, nos espaçamentos de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm e na camada de 0-10 cm. Após coletadas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e levadas ao Laboratório de Manejo do Solo da Universidade Federal do Ceará para realização das análises.

Figura 3. Coleta de amostras de solo e raízes com o auxílio da sonda em quatro distâncias a partir da área da projeção da copa das espécies gliricídia e bananeira em SAF situado na faixa litorânea cearense.

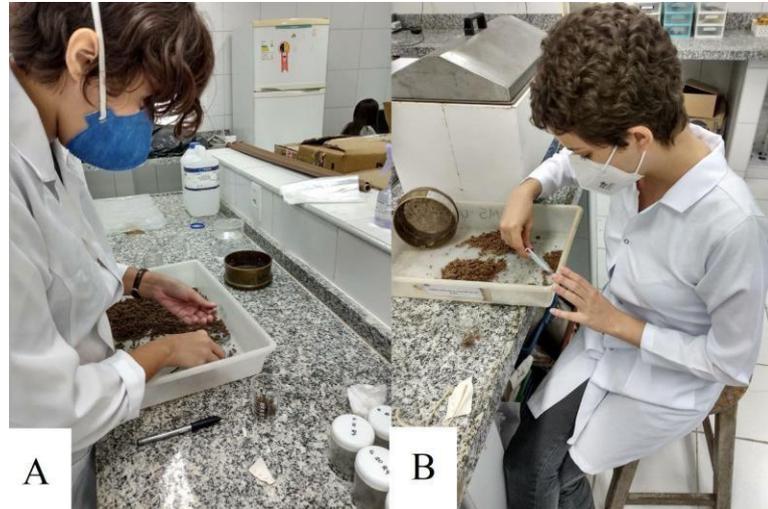


Fonte: a autora.

3.2.3 Avaliações

A preparação das amostras em laboratório contou primeiramente com o processo de separação das raízes do solo (Figura 4), com o auxílio de pinças, peneira com abertura de 1 mm e lavagem com água destilada.

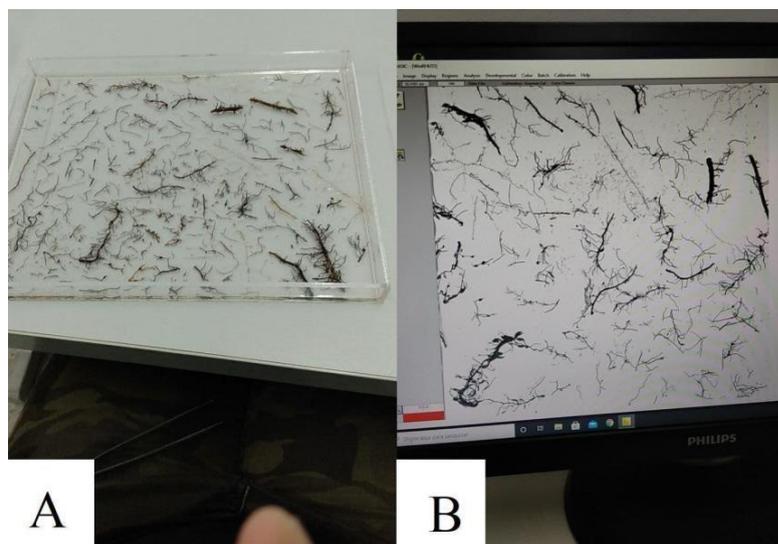
Figura 4. Processo de separação das raízes do solo para as amostras coletadas em quatro distâncias em relação à projeção da copa das espécies gliricídia e bananeira em SAF situado nafaixa litorânea cearense.



Fonte: a autora.

As raízes foram acondicionadas em solução de álcool 70%, refrigeradas e, em seguida, submetidas ao escaneamento por meio do scanner digital EPSON Perfection V8000. O escaneamento foi feito com a distribuição das raízes em placa de acrílico onde foi adicionada água destilada para garantir a separação das raízes. Na sequência foi realizado o escaneamento para obtenção das imagens de raízes lavadas (Figura 5).

Figura 5. Preparação e avaliação das raízes. (A: Colocação das raízes na placa de acrílico; B: Imagem escaneada).



Fonte: a autora.

Logo após a aquisição das imagens, foi feito o processamento digital (PDI) por meio do software WinRhizo versão basic. Por meio deste foram coletados os seguintes dados: comprimento (cm), área superficial (cm²) e diâmetro médio (mm). Além dos dados obtidos pelas imagens, foram realizadas as análises de massa seca das raízes, para posterior cálculo da densidade de massa de raízes.

Com o objetivo de fazer a determinação de carbono no solo, foi feita a secagem das amostras ao ar e o peneiramento utilizando peneira de malha com abertura de 2 mm. Para a quantificação do carbono, foi utilizado o método de oxidação por via úmida, no qual realiza-se a oxidação total da matéria orgânica por meio da adição do dicromato de potássio em meio ácido, seguido de titulação com sulfato ferroso amoniacal para determinação do teor deste elemento (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Para a determinação do nitrogênio, foi utilizada a metodologia de digestão Kjeldahl que propõe o uso de ácido sulfúrico empregado em alta temperatura. Em seguida, as amostras são submetidas à destilação a vapor com adição de NaOH, permitindo a transformação da amônia (NH₃) em amônio (NH₄⁺), fazendo com que as partículas sejam carregadas para a solução com ácido bórico e indicadores, sendo subsequentemente titulada para estipular o teor de N (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Dispondo dos dados dos teores de carbono e nitrogênio, foram calculados os estoques dos referidos elementos. Para o cálculo, além dos teores também foram utilizados dados de densidade do solo (calculados por meio da relação entre massa seca do solo e volume do anel volumétrico utilizado na análise física) e a profundidade de 10 cm, escolhida previamente na hora da amostragem.

Os resultados foram obtidos por meio da equação:

$$\text{Estoque (Mg/ha)} = \frac{\text{teor do elemento (g/kg)} \times Ds \text{ (kg/dm}^3\text{)} \times \text{espessura (cm)}}{10}$$

3.2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada a partir da utilização do software SAS (Statistical Analysis System, 1995). Para isso, foi realizado teste de normalidade e realização de transformação dos dados que não apresentaram distribuição normal. Os atributos área superficial, diâmetro médio e densidade de massa de raízes não apresentaram distribuição normal, logo, foram transformados mediante a o uso das equações Área superficial = AS^{0,5}, Diâmetro médio = DM^{-0,1} e Densidade de massa de raízes = DMR^{-0,2}. Foi feita a análise de variância (ANOVA) de acordo com o delineamento em blocos casualizados, seguida por teste de comparação de médias Tukey para o fator de tratamento qualitativo (componentes do SAF) e análise de regressão para o fator de tratamento quantitativo (distâncias em relação à projeção da copa).

3.3 Estudo das iniciativas de transferência de tecnologia para os agricultores e sociedade

Diante do entendimento da importância acerca da difusão do conhecimento agroflorestal, a Coringa Agrofloresta promove, mediante a execução de mutirões e formações, a disseminação da tecnologia dos SAFs para os agricultores locais e sociedade em geral.

As atividades de troca de conhecimento começaram em meados de 2017, um ano após a adesão da propriedade aos sistemas agroflorestais, abrangendo primeiramente os agricultores vizinhos que demonstraram interesse na tecnologia e, posteriormente, a sociedade civil (professores, estudantes do ensino médio, universitários e demais pessoas interessadas). Dentre as atividades proporcionadas, pode-se citar os mutirões como ferramenta de contato inicial entre a propriedade e a comunidade.

O intuito dos mutirões se baseava no processo de implantação de parcelas de SAFs, visando acelerar este processo. Nos mutirões, com o auxílio de agroflorestadores experientes, ocorre o processo de aprendizagem de maneira teórico-prática, contando inicialmente com uma breve capacitação e planejamento do sistema, onde é considerado o que será plantado e suas respectivas posições no conjunto espaço-tempo. As capacitações, a princípio, eram privativas aos funcionários da fazenda, com a intenção de servir para fomentar a qualificação dos mesmos. Todavia, mediante o entendimento da importância de se trocar conhecimento com a população oriunda do local, os espaços foram abertos aos agricultores da comunidade que demonstraram interesse.

Com a inserção dos agricultores da comunidade local neste seguimento, foi-se desenvolvendo o intercâmbio de saberes, onde os mesmos dialogavam informações baseadas nas suas respectivas experimentações ao longo do tempo. Deivid *et al.* (2013) demonstram que as ações proporcionadas por meio dos mutirões são bastante eficientes no processo de geração e troca de tecnologias agroflorestais.

Decorrente do estímulo ocasionado pelos resultados positivos apresentados pela Coringa, agricultores dos arredores, mediante auxílio dos funcionários do local, começaram a implantar sistemas em seus quintais focados nas necessidades e objetivos dos agricultores. Além da troca e diálogo de saberes práticos, há a doação de materiais como por exemplo sementes crioulas e mudas diversas.

As iniciativas de transferência da metodologia agroflorestal propostas pela Coringa também se estendem para o âmbito escolar e acadêmico. Desde o ano de 2019, sucede-se a parceria entre o Grupo Agroecológico da UFC e a fazenda, onde são promovidas capacitações práticas para os participantes. Há também o recebimento de estagiários da UFC e residentes agrários da UNILAB pela fazenda. Na esfera escolar, pode-se citar a parceria com a Escola Padre Rodolfo, onde são estabelecidas atividades como horta na escola e ensinamentos agrícolas, estimulando assim o contato juvenil com as experiências agroflorestais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos radiculares

Os atributos radiculares que diferiram em resposta à interação dos fatores de tratamento “espécies” e “distância” foram a área superficial ($p < 0,05$) e o diâmetro médio ($p < 0,01$) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise da variância (ANOVA) para atributos radiculares, valores de estoque de carbono e nitrogênio e relação carbono/nitrogênio (C/N) em resposta às distâncias da projeção da copa de dois componentes (bananeira e gliricídia) de sistema agroflorestal na faixa litorânea nordestina.

Fonte de variação	C	AS	DM	MS	DR	DMR	Est-N	Est-C	C/N
..... Valor F									
Bloco	2,09 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,15 ^{ns}	2,70 ^{ns}	6,76**	4,14*	0,53 ^{ns}
Espécies (E)	87,45**	42,33**	2,60 ^{ns}	18,79**	349,78* *	126,15**	0,34 ^{ns}	1,84 ^{ns}	1,15 ^{ns}
Distâncias (D)	5,91**	5,59**	2,79 ^{ns}	1,80 ^{ns}	9,28**	5,40**	5,27**	5,08**	4,46*
E x D	1,41 ^{ns}	4,81*	9,93* *	2,06 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,78 ^{ns}	4,94**	5,83**	3,42*
CV% ¹	32,9	19,0	1,84	63,5	15,4	5,61	25,5	28,6	25,6

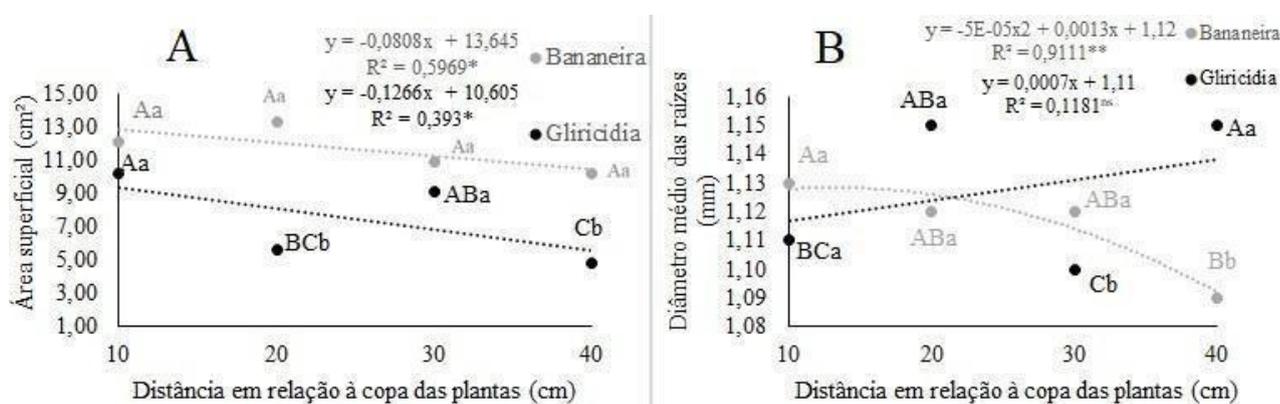
4

⁴ CV = coeficiente de variação; [1] ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

C = comprimento das raízes; AS = área superficial; DM = diâmetro médio; MS = massa seca; DR = densidade radicular; DMR = densidade de massa de raízes; Est-N = estoque de nitrogênio; Est-C = estoque de carbono; CN = interação carbono nitrogênio.

Os fatores que diferiram em resposta à fonte de variação espécie de forma individual foram comprimento, massa seca, densidade radicular e densidade de massa de raízes (todos considerando $p < 0,01$) (Tabela 3). Para a fonte de variação “distância”, observa-se os fatores comprimento, densidade radicular e densidade de massa de raízes ($p < 0,01$) (Tabela 3).

Figura 6. Área superficial (A) e diâmetro médio de raízes (B) das espécies bananeira e gliricídia em quatro distâncias em relação à projeção da copa, na camada de 0-10 cm do solo do sistema agroflorestal estudado (ambos os dados foram transformados por não apresentarem distribuição normal, sendo representado pelas equações $DM^{-0,1}$ e $AS = AS^{0,5}$).



5

Fonte: o próprio autor.

Observa-se que a área superficial das raízes, no caso da bananeira, não demonstra diferença entre as médias, logo, é possível dizer que a área radicular dessa espécie não diminuiu à medida que se aumenta a distância da copa (Figura 7A). No caso da gliricídia, nota-se diferença entre as médias, demonstrando que houve diminuição da área radicular ao se aumentar a distância da projeção da copa. Considerando os dados originais, a área superficial atingiu o

⁵ As médias com letras maiúsculas diferentes propõem diferenças entre as distâncias para cada espécie pelo teste de Tukey a 5 % de significância. As médias com letras minúsculas propõem diferenças entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância. Ambos os dados sofreram transformação por não apresentarem distribuição normal, sendo utilizada as equações $AS = AS^{0,5}$ e $DM = DM^{-0,1}$

ápice do seu valor aos 20 cm na bananeira (180,48 cm²) e 10 cm na gliricídia (110,05 cm²), enquanto o menor valor foi aos 40 cm em ambas as espécies (105,69 e 23,94 respectivamente).

Segundo Pereira *et al.* (2014), quando se trata da adubação de cobertura da bananeira, considerando a planta adulta, é recomendado que a técnica seja feita no formato de meia lua englobando a área de projeção da copa. Considerando que não houve a diminuição da área superficial radicular com o aumento da distância em relação à copa, pode-se afirmar que a adubação feita em áreas além da projeção da copa também é válida, visto que há distribuição de raízes superficiais suficiente para absorver água e nutrientes.

Santos e Carlesso (1998) apontam que muitas vezes plantas impostas à regime hídrico de escassez acabam por desenvolver mecanismos de estímulo ao aumento do sistema radicular. Considerando que a gliricídia é uma espécie apropriada para ambientes secos, além do fato de que as plantas dispunham de contato frequente com a água, isso pode ter favorecido a menor exploração por parte desta espécie e, conseqüentemente, menor produção de raízes, gerando assim menor área superficial, enquanto a bananeira não apresentou alteração.

Observa-se que a bananeira apresentou maior área superficial radicular que a gliricídia. Esse aspecto pode estar relacionado ao fato dessa espécie ser considerada herbácea (MICCOLIS *et al.*, 2016), tendo assim maior volume de raízes finas do que a gliricídia que é arbórea e possui raízes mais robustas. Verifica-se que todas as médias da gliricídia diferiram em relação às distâncias da copa.

Considerando o diâmetro médio das raízes, observa-se que o valor diminuiu para a bananeira (Figura 6B), aspecto que pode ser explicado associando-se ao fato da área superficial ter apresentado valor elevado, sem reduzir entre as distâncias avaliadas. Quanto menor o diâmetro radicular, maior será a área superficial abordada pela planta devido ao aumento da superfície de contato com o meio, e vice versa. Em relação à gliricídia, observa-se que, para o atributo diâmetro médio radicular o valor mais alto (0,42 mm) foi observado aos 30 cm, enquanto o menor (0,25 mm) foi obtido aos 20 e 40 cm. Para essa espécie, a regressão linear não apresentou significância.

Levando em conta a área superficial radicular da gliricídia, Rodrigues (2019) propõe em seu trabalho, acerca do desenvolvimento da mesma em consórcio com coqueiro, que esta espécie possui vasto desenvolvimento radicular nas camadas superiores do solo, chegando a demonstrar o valor de 5000 mm² (ou 50cm²) de área superficial na camada de 0-10. Considerando que as coletas foram feitas aos 15 cm de distância da planta (RODRIGUES, 2019), pode-se comparar este atributo com os valores deste estudo, que demonstrou o auge do

valor de área superficial para a gliricídia nos 10 cm iniciais e aos 10 cm de profundidade, chegando à 110,05 cm².

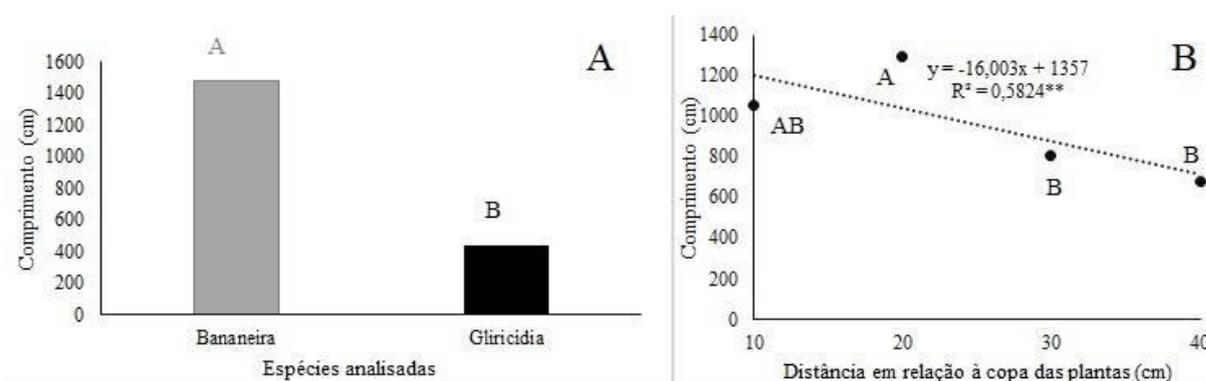
Nascimento (2021) cita em seu estudo acerca da espécie arbórea fixadora de N Sabiá (*M. caesalpiniaefolia*) que raízes com maior diâmetro influenciam positivamente por colaborarem no processo de sustentação da planta, propiciando melhor qualidade e vigor de mudas, favorecendo a utilização efetiva desta espécie fixadora em estratégias de recuperação de áreas degradadas, podendo-se citar o SAF como uma dessas táticas.

Tratando dos atributos que apresentaram significância isoladamente, os mesmos podem ser divididos nos que demonstraram diferenças em relação à espécie e os que diferiram em relação à distância (Figura 7).

Os atributos que apresentaram significância para a fonte de variação espécie de forma isolada são todos de natureza radicular, sendo representados por comprimento de raízes (C), massa seca de raízes (MS), densidade radicular (DR) e densidade de massa de raízes (DMR). Destes, apenas a densidade de massa de raízes não apresentou distribuição normal dos dados e, conseqüentemente, foi transformada mediante a utilização da equação $DMR = DMR^{-0,2}$.

Os atributos que demonstraram significância para a fonte de variação distância de forma isolada foram comprimento de raízes (C), densidade radicular (DR) e densidade de massa de raízes (DMR).

Figura 7. Comprimento radicular das espécies bananeira e gliricídia em quatro distâncias em relação à projeção da copa, na profundidade de 0-10 do SAF analisado.



6

Fonte: a autora.

Tratando do atributo comprimento radicular (Figura 7A), nota-se que o maior valor da bananeira chega a 1477,61 cm de comprimento, enquanto a gliricídia apresenta 436,25 cm.

Os altos valores do comprimento de raízes para a bananeira podem ser explicados pelo fato dessa espécie apresentar grande quantidade de raízes, predominantemente na parte superficial do solo. De Oliveira *et al.* (2012) observam em seu estudo sobre avaliação do sistema radicular de bananeira que 80% do comprimento total de raízes das duas cultivares analisadas podem ser encontradas nos primeiros 0,7 m de distância do pseudocaule, sendo que, para a cultivar terrinha, o comprimento foi significativo nos primeiros 20 cm iniciais de solo.

Dreiseidler *et al.* (2011) abordam em seu trabalho acerca da resposta do sistema radicular de bananeiras ao gradiente de sombra de árvores, bastante evidenciado em sistemas agroflorestais, que o fator que promoveu maior influência negativa no desenvolvimento do sistema radicular da espécie foi a deficiência de luz, em vez da competição interespecífica com outros indivíduos do sistema. Nesses casos, o desenvolvimento do sistema radicular é discriminado em favor do maior crescimento da área foliar, visando capturar o máximo de luz possível no dossel.

Levando em consideração o que foi dito, ao relacionarmos com o caso apresentado neste estudo, é importante salientar que, na implantação do sistema, uma das primeiras espécies inseridas no local foi a bananeira. Considerando que a área do safão foi preparada do zero, sem espécies previamente desenvolvidas no local, ao longo do progresso do SAF a alta incidência de radiação solar pode ter ocasionado a intensa evolução do sistema radicular da espécie em questão.

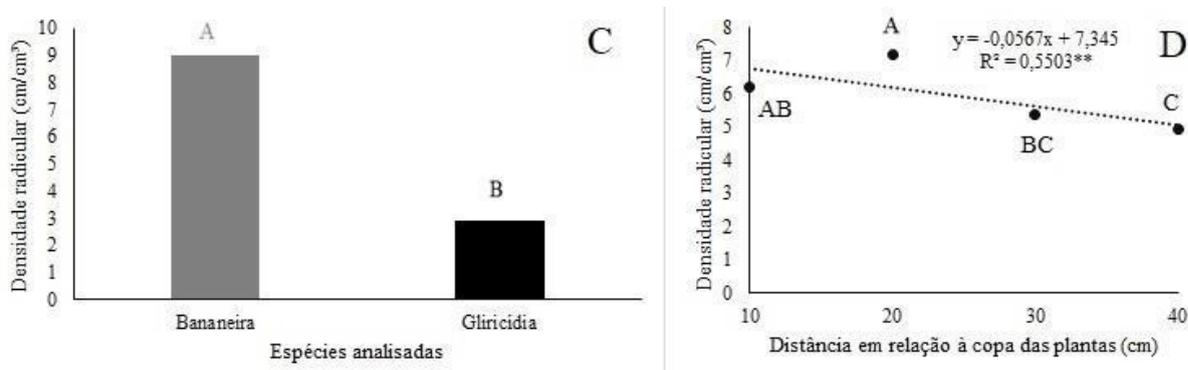
Ao longo do desenvolvimento do sistema, as bananeiras implantadas foram manejadas visando o máximo de eficiência solar para as plantas empregues no local. Sendo conduzidas a partir da planta mãe, que já possuía raízes bem edificadas e desenvolvidas no local, o sistema radicular dos perfilhos teve condição suficiente para o seu amplo desenvolvimento.

⁶ O atributo densidade de massa de raízes (DMR) não teve distribuição normal, logo foi transformado pela equação $DMR = DMR^{-0,2}$

Batista *et al.* (2016) manifestam que a diferença no desenvolvimento radicular da planta está intrinsecamente relacionado à sua capacidade de absorver nutrientes. Considerando a espécie gliricídia, que apresentou 436,25 cm de comprimento de raízes, Rodrigues (2019) comenta que, inseridas em condições de floresta tropical heterogêneas, a gliricídia possui a capacidade de explorar diferentes zonas subterrâneas devido ao fato de apresentar raízes finas com distribuição superficial no solo. O autor comenta que a distribuição pode ser influenciada pela mineralização de nutrientes na camada da serrapilheira com material de alta qualidade e que apresenta altas taxas de decomposição, como acontece no solo do SAF objeto deste estudo.

Há também a relação fisiológica entre podas da parte aérea e crescimento radicular. Téo *et al.* (2014) demonstram que as técnicas de poda para o desenvolvimento de mudas, tem como um dos objetivos principais o estímulo à produção de raízes novas, com consequente aumento na capacidade de absorção de nutrientes. Visto que frequentemente ocorre a poda da parte aérea dessas plantas, esse fator pode ter ocasionado bom desenvolvimento das raízes da espécie em questão.

Figura 8. Densidade radicular das espécies bananeira e gliricídia em quatro distâncias em relação à projeção da copa, na profundidade de 0-10 do SAF analisado.



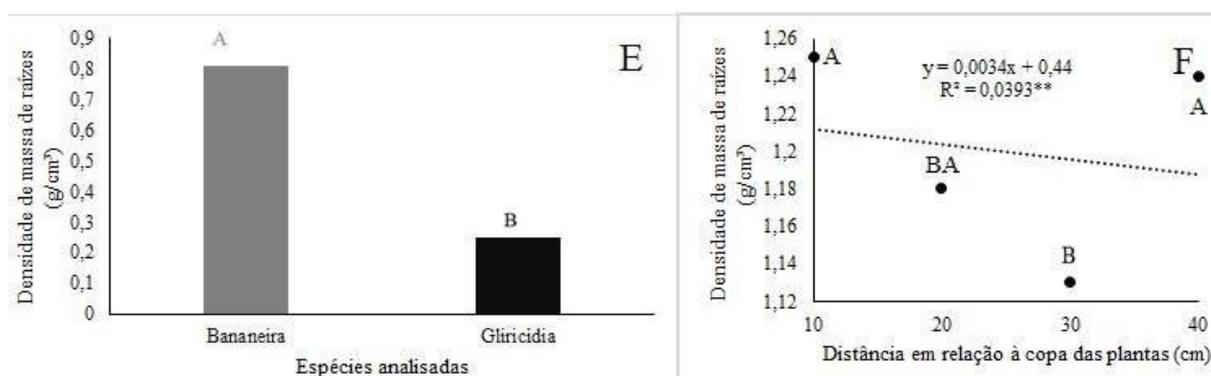
Fonte: a autora.

Para a análise do atributo densidade radicular significativo para a fonte de variação espécie (Figura 8C), a bananeira apresentou valor de 8,97 cm/cm³, enquanto a gliricídia apresentou 2,89 cm/cm³. Houve diferença significativa entre as médias das duas espécies. Filho *et al.* (2004) propuseram em seu estudo a análise da densidade radicular da bananeira pacovan sob irrigação por aspersão, chegando a um valor máximo de 0,22 cm/cm³ na profundidade superficial de 0-15 cm. Os autores observaram também que ocorreu diminuição desse valor com o aumento da profundidade.

Ao comparar os valores, pode-se observar que a bananeira obteve bom valor de densidade radicular em relação ao estudo de Filho *et al.* (2004). Mielniczuk (1990) disserta que o desenvolvimento radicular em determinado sistema está inteiramente relacionado às características físicas do solo. Considerando que o solo da área em questão possui boas características físicas, como porosidade e densidade, isso pode explicar o bom desenvolvimento radicular da bananeira.

Atentando-se à espécie gliricídia, a planta apresentou menor densidade radicular em relação à bananeira. Makumba *et al.* (2009) analisam em seu trabalho o consórcio entre milho e gliricídia no sistema. Os autores ressaltam a importância da gliricídia no cultivo simultâneo de árvores e culturas anuais, visto que ela possui boa capacidade de enraizamento em profundidade, o que promoveu o uso eficiente das camadas do solo, visto que a leguminosa não atrapalhou o desenvolvimento da gramínea. No caso, houve o bombeamento de nutrientes proporcionado pela gliricídia para as camadas mais altas.

Figura 9. Densidade de massa de raízes das espécies bananeira e gliricídia em quatro distâncias em relação à projeção da copa, na profundidade de 0-10 do SAF analisado.



Fonte: a autora.

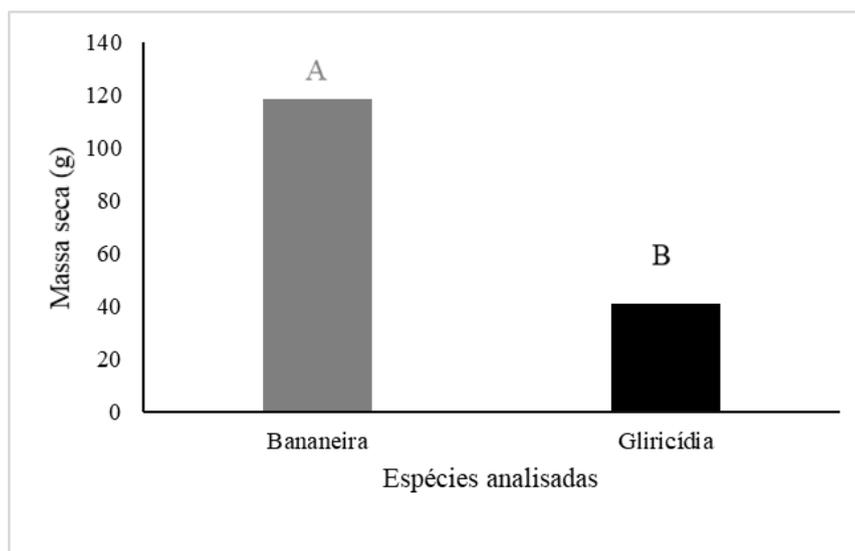
Em relação à densidade de massa de raízes, significativa para a fonte de variação espécie, a bananeira também se sobressaiu em relação à gliricídia, apresentando o valor de 0,81 g/cm², enquanto a leguminosa apresentou o valor de 0,25 g/cm² (Figura 9E).

Borges *et al.* (2008) demonstram em seu estudo, sobre distribuição radicular da bananeira sob efeito de fertirrigação com uréia, que a densidade de raízes da bananeira cultivar ‘prata-anã’ atingiu o maior valor com a sucessão da fertirrigação a cada 3 dias, em comparação com a menor frequência a cada 15 dias. Na profundidade de até 30 cm, a densidade de massa de raízes atingiu o valor de 0,46 cm/cm³. Os autores atribuem isso ao maior desenvolvimento nas camadas iniciais derivado da maior atividade biológica e maior disponibilidade de recursos como água e nutrientes (BORGES *et al.* (2004).

Relacionando os dados citados anteriormente à este estudo, é possível associar que o resultado de densidade de massa de raízes da bananeira obtidos no SAF pode ser decorrente da proximidade desta espécie com a leguminosa, além da irrigação sucessiva feita no talhão, que acaba incrementando o desenvolvimento radicular no meio.

Schroth e Zech (1995), em seu trabalho a respeito da dinâmica radicular em SAFs com gliricídia, propõem que a leguminosa acarretou a contribuição de 27% da massa de raízes nos primeiros 10 cm de profundidade do solo, chegando aos 33% de contribuição na profundidade de até 50 cm. Os autores também relatam que as parcelas de cultivo ‘solteiro’ (sem a colaboração de outras culturas) apresentaram valores de densidade de massa de raízes menores em relação às partes cultivadas consorciadas, o que pode ser devido à presença da gliricídia.

Figura 10. Massa seca de raízes das espécies bananeira e gliricídia retiradas da camada 0-10 do sistema agroflorestal analisado.



Fonte: o próprio autor.

Outro atributo que se demonstrou mais elevado para a bananeira do que a gliricídia foi a massa seca de raízes. A bananeira promoveu valor de 118,33 g, enquanto a gliricídia demonstrou um valor de 40,83 g. A discrepância demonstrada nesses resultados podem ser decorrentes do fato da bananeira ser considerada espécie herbácea de grande porte, enquanto a gliricídia é conceituada como arbórea.

Constatando o valor da massa seca radicular da bananeira, Garcia (2000) demonstra em seu trabalho que, ao comparar o crescimento radicular dessa espécie em dois tipos de irrigação (aspersão convencional e microaspersão), o sistema que promoveu o maior valor de massa seca de raízes foi o de microaspersão, chegando ao total de 511,27 g, enquanto o de aspersão convencional apresentou valor de 401,82 g. Contudo, o autor ressalta que a menor produção proveniente da aspersão convencional deve-se ao fato das raízes produzidas neste sistema serem mais finas, logo se demonstram mais eficientes na absorção de água e nutrientes.

Correlacionando os dados de Garcia (2000) com este trabalho, pode-se associar os valores de massa seca radicular da bananeira com o fato da irrigação no SAF analisado ser do tipo aspersão convencional. Pode-se relacionar inclusive este fato à diminuição do diâmetro médio das raízes da bananeira e o conseqüente aumento da área superficial das mesmas, como foi citado anteriormente, o que demonstra que o sistema radicular da herbácea é eficiente na aquisição de recursos por ser composto majoritariamente por raízes finas.

Atentando-se a gliricídia, Magalhães (2017) discorre em seu estudo, sobre o desenvolvimento de espécies arbóreas em solos de sistemas agroflorestais, que essa espécie apresentou maior massa seca fora da área da projeção da copa, quando comparada às espécies pau branco e sabiá. A autora ressalta que, dentro da área de projeção da copa, a espécie que atingiu o maior valor foi o pau branco chegando a média de 0,13 g/cm³, enquanto a gliricídia apresentou o valor de 0,03 g/cm³. Já fora da área de projeção da copa, a gliricídia chegou ao valor de 0,08 g/cm³.

Analisando os atributos que se demonstraram significativos para a fonte de variação distância, o comprimento e a densidade radicular apresentaram distribuição normal, logo não foram transformados. Apenas a densidade de massa de raízes teve de ser transformada mediante o uso da equação $DMR = DMR^{-0,2}$. A regressão linear foi significativa a 1% para todos os atributos.

Para o atributo comprimento ($p < 0,01$), observa-se que o ápice de seu valor foi atingido na distância de 20 cm em relação à projeção da copa, chegando ao valor de 1290,43 cm. Já o menor valor foi apontado no ponto mais afastado da copa, aos 40 cm, alcançando o valor de 678,53.

Analisando a espécie bananeira, Ramos (2001) corrobora em seu estudo sobre a distribuição radicular da mesma submetida à irrigação por microaspersão que aproximadamente 80% do conteúdo radicular se difundiu até 0,60 m de distância do pseudocaule, enquanto 88% da área total radicular ocupou até a profundidade de 0,60 m, levando em consideração a textura do solo que era arenosa. O autor ressalta a relação de similaridade entre os percentuais de crescimento da área radicular e do comprimento, o que mostra crescimento rápido das raízes no período vegetativo e intensa diminuição no período do florescimento.

Santos *et al.* (2016) também abordaram a distribuição de raízes sujeitas a diferentes configurações de irrigação. Os autores constataram que as médias dos comprimentos de raízes apresentaram similaridade para os tratamentos, contudo, ao se submeter a bananeira ao déficit de irrigação parcial a espécie apresentou tendências de aumento do desenvolvimento radicular. Os autores também corroboram que houve diminuição do crescimento com o aumento da profundidade do solo, e diminuta manutenção da distribuição radicular com o aumento da distância em relação ao pseudocaule.

No caso deste estudo, o fato do comprimento das espécies ter apresentado maiores valores na distância de 20 cm da projeção da copa pode ter acontecido por estar em uma faixa de comprimento alvejada pelo raio do aspersor com menor precisão, enquanto o conteúdo radicular localizado nas distâncias de 30 e 40 cm, mais próximas da fonte de água, conseguem captar este recurso com mais facilidade.

Em relação ao atributo densidade radicular ($p < 0,01$), assim como o comprimento, o maior valor foi observado aos 20 cm de distância da projeção da copa, apresentando o valor de 7,17 cm/cm³. O menor valor, no caso 4,94 cm/cm³, foi observado aos 40 cm de distância da copa.

De Maria *et al.* (1999) descrevem a relação entre os atributos físicos do solo e o desenvolvimento radicular da soja submetidos a diferentes métodos de preparo do solo. Os resultados obtidos no estudo demonstram que ambos os dados de densidade radicular e massa seca da leguminosa diminuíram no sistema onde foi aplicado o método de gradagem pesada, enquanto na área preparada a partir da semeadura direta, estes atributos atingiram maiores valores, demonstrando que as raízes dessa espécie possuem restrições ao uso de gradagem pesada como preparo do solo.

Ao considerar que o preparo da área avaliada neste presente estudo foi feito a partir da retirada da vegetação nativa seguida do uso da grade pesada acoplada ao trator, este manejo pode ter interferido no desenvolvimento radicular das plantas, incluindo a densidade de raízes das espécies leguminosas.

Pinheiro *et al.* (2016), em seu estudo sobre a densidade radicular de 4 diferentes espécies de eucalipto em um SAF, correlacionam o desenvolvimento de raízes das espécies com a distância e a profundidade em relação a linha de árvores. Considerando a idade das plantas que é de dois anos, os autores demonstram que a maior fração de raízes finas (mais importantes no processo de aquisição de recursos) estão localizadas adjacentes à linha de plantio, presentes principalmente nas camadas superficiais do solo.

Os resultados citados anteriormente se assemelham aos dados obtidos neste estudo, demonstrando o maior valor de densidade radicular próximo à planta e nas camadas superficiais do solo. Há também de se considerar o fato das espécies do safão, assim como no estudo de Pinheiro *et al.* (2016), terem apenas dois anos de desenvolvimento, o que pode ter corroborado para a

No caso do atributo densidade de massa de raízes ($p < 0,01$), nota-se, por meio dos dados não transformados, que essa propriedade atingiu o maior valor aos 30 cm de distância, chegando aos $0,85 \text{ g/cm}^3$. Já o menor valor foi observado aos 40 cm, demonstrando o valor de $0,38 \text{ g/cm}^3$.

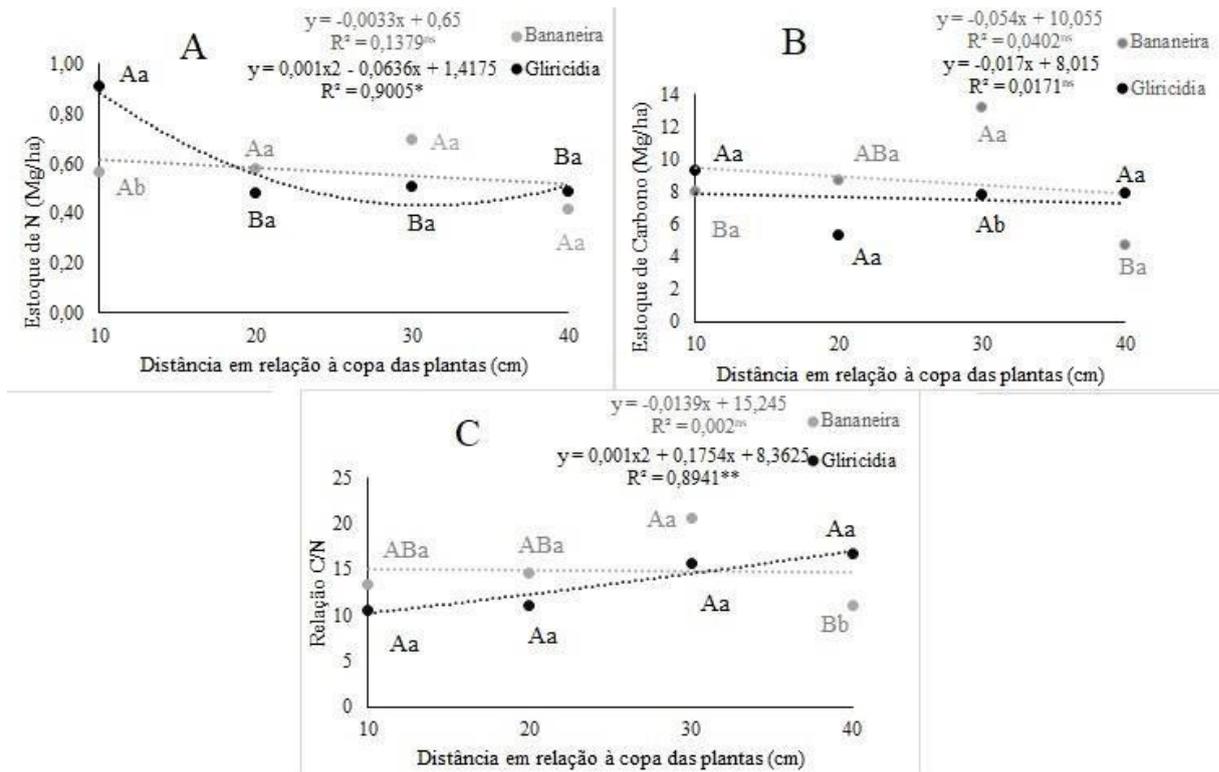
Palheta e Wandelli (2002), ao avaliarem a densidade de nodulação e de biomassa das raízes das leguminosas Gliricídia e Ingá em SAFs implantados nas áreas degradadas por pastagem da Amazônia Central, observaram que, quanto maior a diversidade dos sistemas maior a densidade de raízes e a taxa de nodulação. Os autores corroboram que os valores de densidade de biomassa radicular da gliricídia no sistema biodiverso chegam a quase 500 g/m^3 na camada superficial de 0-10 cm do solo, em comparação ao sistema com predominância de palmeiras. Considerando a distância do caule, dentro da esfera do sistema diverso, a gliricídia manifestou sutil aumento no intervalo dos 50 aos 100 cm, contudo, apresentou um salto chegando ao valor acima de 600 g/m^3 aos 150 cm da projeção do caule.

Comparando os valores obtidos por Palheta e Wandelli (2002), aos dados gerados neste trabalho, percebe-se que os mesmos demonstram valores acima dos relatados pelas autoras. Para isso, foi feita a mudança de unidade, obtendo-se os valores de $0,0005 \text{ g/cm}^3$ na camada superficial de 0-10 do estudo descrito, enquanto que os dados obtidos no safão chegam à $0,39 \text{ g/cm}^3$ na mesma camada.

4.2 Sequestro de carbono e nitrogênio

Os atributos do solo que apresentaram significância para a interação espécie x distância foram o estoque de nitrogênio, estoque de carbono e relação carbono/nitrogênio.

Figura 11. Estoques de nitrogênio (A), carbono (B) e relação C/N (C) obtidos no solo de sistema agroflorestal estudado em quatro distâncias em relação à projeção da copa, na profundidade de 0-10 cm.



5

Fonte: o próprio autor.

Ao avaliar o atributo estoque de nitrogênio (Figura 10 A), é possível observar que, para a bananeira, não houve diferença significativa entre as médias e não demonstrou significância para a regressão linear, logo, pode-se dizer que essa espécie não sofreu influência das distâncias na alteração do estoque de N. Já a gliricídia demonstrou diferença significativa aos 10 cm da projeção da copa, manifestando o maior valor de estoque de N (0,91 Mg/ha) o que pode estar relacionado à maior concentração de nódulos fixadores mais próximos ao colo da raiz principal da planta, como pode ser descrito por Bohrer *et al.* (1994) ao fazer a caracterização de 153 tipos de soja. Os autores demonstram que 90% da nodulação ocorre nesta região.

⁵ As letras maiúsculas representam a comparação de médias entre as distâncias para cada espécie, enquanto as letras minúsculas representam a comparação de médias entre as espécies para cada distância.

Mielniczuk *et al.* (2003) comentam que em muitos casos há a ênfase para a utilização de leguminosas em sistemas de produção visando restabelecer os estoques de N e C do solo. Atribuições a esse fato podem ser feitas considerando que na parcela produtiva do sistema agroflorestal analisado, a distribuição dos restos culturais de poda da gliricídia e de outras plantas é feita de forma manual e desigual, tanto na base das plantas da linha como também na entrelinha. Logo, alguns espaços podem apresentar maior acúmulo de nitrogênio. Ademais, há o fato de que o valor do estoque leva em consideração não somente o valor de N, mas também a densidade do solo e profundidade específica analisada. Jantalia *et al.* (2006) pondera que a leitura equivocada destes dados pode ocorrer devido ao aumento na densidade de solo.

Analisando o estoque de carbono (Figura 10 B), percebe-se que não houve significância para a regressão linear e quadrática em ambos os casos. Então pode-se dizer que ambas as espécies não sofreram alteração no estoque de carbono devido às distâncias da projeção da copa. Somente houve diferença significativa ao compararmos as médias entre as espécies para cada distância, onde aos 30 cm a bananeira manifestou o valor de estoque de carbono maior que o da gliricídia. No caso, a bananeira apresentou o valor de 13,23 Mg/ha, enquanto a gliricídia apresentou o valor de 7,8 Mg/ha.

Para a bananeira, Gondim *et al.* (2012) demonstram em seu trabalho acerca do monitoramento do estoque de carbono com a aplicação de restos de bananeira que houve uma diminuição no teor do estoque desse elemento, incluindo perdas significativas nas profundidades de 0- 5 e 5-10 cm. Os autores atribuem a diminuição à grande decomposição fomentada pelas altas temperaturas e pela irrigação. Bona *et al.* (2006) corroboram essa condição ao analisar a incorporação de restos culturais no solo, seguido da diminuição do estoque de carbono na profundidade de 0-20, derivada principalmente da maior decomposição de matéria orgânica ocasionada pela irrigação.

Atentando-se à espécie gliricídia, observa-se que a regressão não é significativa, logo não houve alteração do estoque de carbono em relação às distâncias de projeção da copa. D'andréa *et al.* (2004) discutem em seu trabalho o valor do estoque de carbono no solo quando este é submetido a diferentes tipos de manejo. Observa-se que o estoque de carbono, além do estoque de nitrogênio, não sofreu alterações. Contudo, os autores relatam que, apesar de não ter ocorrido alteração nos estoques, os manejos que ocasionam menor perturbação ao solo promoveram maior tendência de acúmulo de carbono orgânico. Esse fator foi observado no sistema de plantio direto, método este tido como conservacionista (como os SAFs), o qual possui histórico de uso agrícola com maior diversidade de espécies utilizadas na rotação em comparação aos outros sistemas.

É necessário atentar-se ao fato do período de desenvolvimento do SAF analisado neste estudo ser de curta duração. Desde a implantação até o período de amostragem de raízes e solo são apenas dois anos de desenvolvimento, logo, pode não ter ocorrido acréscimo tão considerável de carbono no meio.

Em relação ao atributo relação C/N (Figura 10 C) no sistema analisado, é possível constatar que a bananeira não sofreu influência da distância para este atributo. Contudo, nota-se que o valor da relação da gliricídia aumenta à medida que a distância cresce, ultrapassando a bananeira no final dos 40 cm e chegando ao valor de 16,63. As médias da gliricídia não diferiram. Houve significância de 1% para a regressão quadrática considerando a gliricídia, enquanto a bananeira não foi significativa para a regressão linear.

Magalhães (2017) indica que a relação C/N é de grande relevância para o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, devido a mesma gerar muitas informações acerca da humificação do material. Kiehl (2004) propõe que os valores ideais de relação C/N para determinada combinação de resíduos é entre 25/1 a 35/1. Correlacionando com os valores obtidos nesse trabalho, nota-se que o dado mais próximo do ideal proposto por Kiehl (2004) foi observado na bananeira aos 30 cm de distância da copa (20,54). Todas as outras médias apresentaram valores menores. A partir disso, nota-se que a maioria das médias representam um baixo valor de relação C/N. A presença da deposição dos restos culturais da gliricídia pode ter ocasionado a “estagnação” da relação C/N em teores baixos para a bananeira.

Para a gliricídia, foi observado que a relação C/N aumenta com a distância, partindo do valor 10,61 aos 10 cm de distância da copa. Isso pode ser decorrente da maior quantidade de nitrogênio perto da raiz principal da planta derivado da fixação (BOHRER *et al.*, 1994), o que acaba por diminuir a relação. No decorrer do aumento da distância em relação à copa, verificase um aumento na relação C/N, conseqüentemente, há aumento do teor de carbono e a diminuição do teor de nitrogênio.

É importante ponderar que no manejo do SAF avaliado neste estudo, houve o cultivo de capim-tanzânia (*Panicum maximum cv. Tanzânia-1*) nas entrelinhas, posteriormente ocorreu o corte e distribuição do material vegetal. Guimarães *et al.* (2010) dissertam que a relação C/N do meio muitas vezes origina mudanças na dinâmica dos nutrientes, já que resíduos com altos valores de relação fomentam a imobilização do nutriente no meio, enquanto que materiais com baixos valores de relação provocam o aceleração da mineralização.

4.3 Iniciativas de transferência de tecnologia agroflorestal

As iniciativas de disseminação da tecnologia agroflorestal propostas pela Coringa Agrofloresta demonstram ter alta importância no processo de propagação deste método de produção, visto que os resultados englobam tanto aspectos da esfera comunitária local como pontos no meio escolar/acadêmico, além das experiências promovidas por agroflorestadores iniciantes estimulados pelos mutirões. Bolfe *et al.* (2004) mencionam que a construção dos SAFs sucessionais deve ser feita localmente pelos agricultores, visto que gira em torno do conhecimento desenvolvido em conjunto, considerando a participação de todos extremamente importante no processo de continuidade da corrente agroecológica.

Como resultados oriundos das atividades de difusão e troca de saberes agroflorestais no âmbito da comunidade local, pode-se citar o planejamento e a implantação de dois SAFs na comunidade da fazenda, mediante a participação e o auxílio dos funcionários da Coringa no que concerne a materiais e mão de obra. O primeiro SAF é o de dona Toinha, tendo enfoque em roçado e madeira, sendo implantado em janeiro de 2019. Já o segundo SAF é o de dona Eliana, que foi iniciado em meados de agosto de 2021 e possui foco em açaí. No primeiro caso, a agricultora foi convidada a participar do mutirão, e no segundo houve o estímulo via observação pelas redes sociais, outra ferramenta utilizada para transmitir os ensinamentos agroflorestais.

Steenbock *et al.* (2013) desenvolvem que, mediante o fato da dinâmica de organização global ser baseada em aspectos hegemônicos de cunho capitalista, há a expressão de movimentos e grupos alternativos que propõem resistência a estes padrões. Constantemente, as manifestações desses grupos não possuem ressonância para além do local, contudo, seus representantes procuram cada vez mais articular ideias em redes regionais, nacionais e internacionais visando partilhar o descontentamento com os que os excluem, além de trocar saberes com seus semelhantes.

Utilizando o exemplo da Cooperafloresta, ao se tratar de estratégias de organização de seus agricultores é possível perceber que as mesmas estão centradas no resgate e na consolidação de ideais de solidariedade e reciprocidade, o que fomentou a reprodução social dos indivíduos, além de resultar na melhoria ambiental do meio. Essas ações de solidariedade e reciprocidade são resultantes das metodologias de aprendizado e ensino, além das intervenções de troca e interconhecimento. Esses pontos são reflexos constituídos dentro da perspectiva da cultura camponesa, onde são construídas trocas e relações cotidianas (STEENBOCK *et al.*, 2013). Grande parte dessas condições podem ser observadas na dinâmica da Coringa com os moradores locais, assim como suas respectivas relações.

Ao observar os resultados para a esfera escolar, pode-se citar a parceria da Coringa Agrofloresta com a escola Padre Rodolfo, localizada na comunidade Canaã, no Trairi. As atividades, propostas para os alunos do ensino médio, variam entre trabalhos na horta, ensinamentos acerca do funcionamento dos sistemas, produção de mudas, questões de implantação, além do trabalho de horta na escola. A parceria se iniciou por meio da observação via redes sociais.

Os estudantes também participaram da preparação inicial da área voltada para a futura implantação do sistema agroflorestal experimental, onde serão desenvolvidos e observadas dinâmicas da natureza pelos próprios alunos. Na área, foram plantadas mudas diversas pelos estudantes, proporcionando assim a possibilidade do acompanhamento e estabelecimento do sistema ao longo do tempo. Souza *et al.* (2021) cita a importância da UA (unidade de aprendizagem) em SAFs de cunho agroecológico para o desenvolvimento prático dos estudantes da Universidade Federal do Mato Grosso, incentivando inclusive a distribuição dos alimentos saudáveis produzidos para a comunidade interna e externa à universidade.

A partir da multiplicação de práticas agroecológicas observada na UA, determinada “Quintal Agroflorestal”, observa-se o desenvolvimento e capacitação dos estudantes, agricultores e comunidade em geral. A proposta é que os acadêmicos tornem-se multiplicadores dos conceitos e práticas envolvidas na produção sustentável de alimentos (SOUZA *et al.*, 2021).

Ultrapassando a escala local, há também a influência positiva da difusão técnica agroflorestal da coringa para o meio universitário. Desde o ano de 2019, os membros do Grupo Agroecológico da UFC participam dos mutirões de implantação dos sistemas. A partir dessa colaboração conjunta, houve o estreitamento de relações, o que resultou em produtos como recebimento de estagiários de campo, troca de saberes e produção de trabalhos científicos, incluindo este trabalho de conclusão de curso.

No final de 2019, a Coringa Agrofloresta foi convidada para participar da oficina prática de Sistemas Agroflorestais Sucessionais da III Semana de Agroecologia da UFC, onde houve a implantação do SAF no Campus do Pici, com a participação dos estudantes universitários interessados, demonstrando assim que os sistemas são grandes ferramentas de intervenções didáticas no meio acadêmico. Reis *et al.* (2016), mediante seu trabalho acerca dos SAFs na perspectiva da agricultura familiar, descreve que o estabelecimento de SAFs, tanto dentro da área da universidade como nas UAs dos agricultores, representam a principal ferramenta na integração dos pilares universitários “ensino, pesquisa e extensão”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados que foram apresentados no presente estudo, pode-se aferir que a frutífera herbácea semi-perene demonstrou maior desenvolvimento radicular do que a espécie leguminosa arbórea, utilizada como adubadora, na camada superficial de 0-10 do solo. No que condiz ao desenvolvimento radicular, nota-se que o conteúdo de raízes diminui para ambas as raízes à medida que se aumenta a distância da área de projeção da copa.

Pode-se concluir também que a bananeira não demonstrou alteração do estoque de N e C em relação às distâncias, porém demonstrou maiores valores que a leguminosa em relação ao estoque de carbono na distância de 30 cm. Já a leguminosa apresentou valores mais altos nos primeiros 10 cm iniciais, provavelmente devido ao maior número de nódulos fixadores de N atmosférico na parte próxima à raiz principal.

Em relação aos métodos de difusão e diálogos acerca da tecnologia agroflorestal, é necessário ressaltar a importância de estratégias e espaços de trocas de experiência visando transmitir o conhecimento adquirido, principalmente objetivando o estímulo a esse modelo. A partir disso, o modelo de agricultura se tornará cada vez mais eficiente e menos prejudicial.

6. REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI S. T. **Carbon sequestration in tropical agroforestry systems.** *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2003; 99: 15-27.
- ALMEIDA, RG de et al. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. **ENCONTRO SOBRE ZOOTECNIA DE MATO GROSSO DO SUL**, v. 7, p. 1-10, 2010.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável.** São Paulo: Expressão Popular, 2012.
- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Transformações do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. IN: **Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária.** Eds. Mercante F.M. Dourados, MS. P. 9-31. 2000.
- ALVES, S. P. L. **Marketing verde e os desafios na preservação do Cerrado.** 68 f. Dissertação de Mestrado (Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2014.
- ARAKAKI, K. K. **Valoração econômica dos serviços ambientais prestados pelo sistema de integração lavoura-pecuária-floresta: uma análise de um experimento de longa duração da Embrapa gado de corte.** 2014. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.
- ARSENAULT J. L.; POULCUR, S.; MESSIER, C.; GUAY, R. **WinRHIZO™, a Root-measuring System with a Unique Overlap Correction Method.** *HortScience*, Vol. 30, pp. 906. 1995.
- ASSMANN, B. R. Contribuições da educação ambiental no ensino médio promovendo melhorias ao ensino e ao ambiente. **Caderno Intersaberes.** v. 05, p. 1-6, São Paulo. 2016.
- ATANASIO, W. D. M.; GONÇALVES, A. L. R. Análise e quantificação de sistemas agroflorestais safes. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 2, p. 731, 2012.
- BARBOSA, I. G. B. **Conservação da água e qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** 2020. Monografia (especialização) - Recursos hídricos e ambientais - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.
- BATISTA. R. O.; FURTINI, A. E., DECCETTI, S. F. C., & VIANA, C. S. . Root morphology and nutrient uptake kinetics by australian cedar clones. **Revista Caatinga.** Mossoró, v. 29, n. 1, p. 153-162, jan/mar., 2016.
- BAYALA, J., HENG, L.K., VAN NOORDWIJK, M. AND OUEDRAOGO, S.J. Hydraulic redistribution study in two native tree species of agroforestry parklands of West African dry savanna. **Acta Oecologica** v. 34, p. 370-378, 2008.

BERNARDES, M. S.; PINTO, L. F. G.; RIGHI, C. A. Interações biofísicas em sistemas agroflorestais. **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**, p. 453-476, 2009.

BOHRER, T. R.; NEVES, M. C.; HUNGRIA, M. Caracterização de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) para a fixação biológica do nitrogênio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3, 1994, Londrina. **Resumos**. Londrina: IAPAR, 1994. 36 p.

BOLFE, A.P.F., SIQUEIRA, E.R., BOLFE, E L . A experiência participativa da educação em sistemas agroflorestais sucessionais: a construção de categorias. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. **Anais**. Curitiba, 2004.

BONA, F. D. de; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 911-920, 2006.

BORGES, A. L., SOUZA, L. D. S., PEIXOTO, C. A. B., & SANTOS JÚNIOR, J. L. C. D. Distribuição do sistema radicular da bananeira Prata-Anã em duas frequências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 259-262, 2008.

BUENO, E. A; OLIVEIRA, L. V. F. DE; PASSOS, E. F. F. MORICONI, W; QUEIROGA, J. L. Influência da cobertura do solo na retenção de umidade e produtividade olerícola em agroflorestas. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2020, Campinas. Anais... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020.

CAETANO, P. A. R.; OLIVEIRA, R. E.; FRANCO, F. S.; FERREIRA, K. C.; SOUZA, F. A.; RABANAL, J. E. M. Metodologia Camponês a Camponês: um caminho para a transição agroecológica no Território Sul Sergipano. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

CHATTERJEE, A.; LAL, R.; WIELOPOLSKI, L.; MARTIN, M. Z.; EBINGER, M. H. Evaluation of different soil carbon determination methods. **Critical Reviews in Plant Science**, 28. 164-178, 2009.

COGO, F. D.; NANNETTI, D. C.; DO CARMO, D. L.; LACERDA, T. M.; NANNETTI, A. M. Carbono orgânico de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros em sistemas de manejo agroflorestal e convencional. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, 2012.

COSTA, G. S.; FRANCO, A. A. DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. D. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 919-927, 2004.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

DE OLIVEIRA, G. A.; SILVA, L. F.; AGOSTINHO, P. R.; SOARES, J. A. B.; SERRANO, M. R.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma Cerrado. IN: SOUSA,

C. S.; LIMA, F. S.; SABIONI, S. C. (Org.) **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. Editora Científica Digital, v. 5, 2021. p. 355-366.

DE OLIVEIRA, R. C.; COELHO, E. F., ARAÚJO, R. T. M., TEIXEIRA, J. C., BARROS, D. L., & AMORIM, M. D. S. Avaliação do sistema radicular de dois cultivares de plátanos. In: **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 6., 2012, Cruz das Almas. Anais... Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2012.

DE SOUSA, S. G. A.; PICANÇO, P.. Avaliação de biomassa e de nutrientes de *Gliricidia sepium* como fonte de adubo verde em sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental. In: Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 3., 2007, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. p. 113-118.(Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 57), 2008.

DEVIDE, A. P.; DE CASTRO, M.; LIMA JUNIOR, E.; ROMEIRO, L. S.; ASSUMPÇÃO, P. A.; DA SILVA, P. P., AGUIAR, P. A.; MARSICANO, M. C.; JUNIOR, C. O. ; COUTINHO, T. Mutirão Agroflorestal': herramienta de red de agroforestería del Vale do Paraíba, Brasil. In: **Congreso Latinoamericana de agroecologia articulos completos**. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecologia (SOCLA), 2013.

DO AMARAL, E., F. Quantificação de raízes utilizando imagens digitais. **Embrapa Acre-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1998.

DREISEIDLER, C., BURKHARDT, J., BUSTAMANTE, O. M., BUSTAMANTE, O., SILES, P., STAVER, C., & PÉREZ VALDIVIA, E. **The response of Musa cultivar root systems to a tree shade gradient**, Costa Rica, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, Informação tecnológica, 2009, 628 p.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALVES, A. L. C.; ASSIS, R. L.; SOUZA, J. R.; JUNIOR, A. A. N.; ARAÚJO, E. S. Avaliação socioambiental do uso de leguminosas para adubação verde em unidades de produção orgânica ou em transição agroecológica da Região Serrana Fluminense. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE ALMEIDA, D. L. Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FILHO, J. A. A. **Manejo sustentável pastoril da caatinga**. Projeto Dom Helder Câmara, Recife, 2013. 200 f.

FILHO, R. L.; SILVA, A. V. C. D., MENDONÇA, V., & TAVARES, J. C. Densidade do sistema radicular da bananeira Pacovan sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 538-539, 2004.

FILIUS, A. M. Economic aspects of Agroforestry. **Agroforestry Systems**, Wageningen, v. 1, n. 1, p. 29-39, 1982.

Floss, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, 57 (1): 25-29. 2000.

FRANCO, A. A.; BALIEIRO, F. de C. The Role of biological nitrogen fixation in land reclamation, agroecology and sustainability of tropical agriculture. In: ROCHA MIRANDA, C. E., (Ed.). **Transition to global sustainability: The contribution of brazilian science**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2000. p. 209-234.

FRANCO, A. A.; DE RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: **Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. Palestras... Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 24 f.

GARCIA, R. V. **Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional e microaspersão no projeto Jaíba, MG**. Tese (pós graduação em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

GATTO, A.; BARROS, N. F. D.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. D. S.; VILLANI, E. M. D. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 735-740, 2009.

GOMES, L. C.; CARDOSO, I. M. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 40-43, 2021.

GÓMEZ-ESPINOZA, J. A.; y GÓMEZ-GONZÁLEZ, G. Saberes tradicionales agrícolas indígenas y campesinos: rescate, sistematización e incorporación a la IEAS. **Revista Ra Ximhai**, v. 2, n.1 2. jan/abr -2006. pp. 97-126.

GONDIM, R.; CRISOSTOMO, L.; MAIA, A., de FIGUEIREDO; M. C. B., TANIGUCHI; C., DUARTE, M.; GONDIM, T. D. A. **Monitoramento do estoque de carbono no solo com aplicação de resíduos da bananeira**. Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2012.

GUIMARÃES, A. K. V.; PINTO, J. C.; FORTES, C. A. Acúmulo e decomposição de serrapilheira em ecossistema de pastagem. **PUBVET**, v. 4, p. Art. 723-729, 2010.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.

HOLT-GÍMENEZ, E. **Campesino a campesino: Voces de Latinoamérica: movimiento de campesino a campesino para agricultura sustentable**. Simas, Nicaragua, 2008.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL 2012 - TRAIRI**. IPECE, 2012.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODEY, R. M.; URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo de solo. In: ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., AITA, C.; BODEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O.(Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p. 35-57.

JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. de. O. **Safira: sistema de análise de fibras e raízes**. São Carlos. Embrapa Instrumentação Agropecuária. 20p. 2008.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1 – 10, 2009.

JUNIOR, A. S. D. L., SOUZA, S. R. D., STARK, E. M. L., & FERNANDES, M. S. Fitomassa, distribuição de raízes e aporte de nitrogênio e fósforo por leguminosas cultivadas em aléias em solo de baixa fertilidade. **Floresta e ambiente**, v. 13, n. 1, p. 61-68, 2012.

KATER, L. J. M.; KANTE, S. BUDELMAN, A. Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South Mali. **Agroforestry Systems**, v. 18, p. 89-105, 1992.

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ªed. Piracicaba. 173p. 2004.

KRAINOVIC, P. M. **Taxa de decomposição de quatro espécies utilizadas para adubação verde em sistemas agroflorestais**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; ALMEIDA, R. G.; PAULINO, V. T. Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF)- experiências no Brasil. **Revista boletim de indústria animal**, v. 71, n. 1, p. 94-105, 2014.

KITAMURA, P. C.; RODRIGUES, G. S. Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas. In: **III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**. 2001. p. 55.

KÖPKE, V. **Methods for studying root growth**. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., Londrina, 1980. Proceedings. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.303-318.

LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v.116, p.353-362, 2002.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v. 27, p. 821-832, 2003.

LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, p. 51-60, 2011.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., GIÁCOMO, S. G., PERIN, A., & ANJOS, L. H. C. D. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

LUNZ, A. M. P.; FRANKE, I. L. Recomendações técnicas para desenho de sistemas agroflorestais multiestratos no Estado do Acre. **Embrapa Acre-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1998.

MACEDO, D. S.; VIEIRA, W. A. Agroecologia na escola como instrumento de ensino a partir da abordagem temática freireana. **Seminário Nacional e Seminário Internacional Políticas Públicas, Gestão e Práxis Educacional**, v. 7, n. 7, 2019.

MAKUMBA, W.; AKINNIFESI, F. K.; JANSSEN, B. H. Spatial rooting patterns of gliricidia, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. **African Journal of Agricultural Research**, 4(4), 278-288, 2009.

MAGALHÃES, R. B. **Aspectos radiculares de espécies arbóreo-arbustivas em Sistema Agroflorestal e seus efeitos no solo**. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MATOSO, S. C. G.; SALMAN, A. K. D. Fertilização orgânica em sistemas silvipastoris. **Rev. Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 519-526, out./dez. 2016.

MEDRADO, Moacir José Sales. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologias, p. 269-312, 2000.

MICCOLIS, A.; PENNEREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMAN, M. R.; REHDER, T. PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em ciência do solo.**, eds. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de raízes como método de avaliação das práticas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina. **Resumos...**Londrina: UEL, 1990. 97p.

NASCIMENTO, L. C. **Doses e modo de aplicação de hidrogel para desenvolvimento inicial de espécie arbórea nativa**. 73 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; MOHAN KUMAR, B.; SHOWALTER, J. M. **Carbon sequestration in agroforestry systems**. In: *Advances in Agronomy*. Chapter 5, p. 237–307, 2010.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry systems*, v. 3, n. 2, p. 97-128, 1985.

NAME, M. H.; MARTINS JUNIOR, H. L.; MARUYAMA, T. M.; FALATE, R.. Desenvolvimento e comparação entre softwares destinados à avaliação do comprimento radicular. *Espacios*. Caracas. v. 37. n. 4. p.22-27. 2015.

NETO, N. E. C.; MESSERSCHMIDT, N. M.; STEENBOCK, W.; MONNERAT, P. F. **Agroflorestando o mundo de facão a trator: gerando práxis agroflorestal em rede**. 2016. 180 p.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; DE BARROS, M. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo** – Viçosa, MG; 1017p.; 26; Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007.

ONG, C., BLACK, C.R., WILSON, J., MUTHURI, C., BAYALA, J. et al. Agroforestry: Hydrological Impacts. In: VAN ALFEN, N. **Encyclopaedia of Agriculture and Food Systems**. Vol. 1. Elsevier, San Diego. 2014. p. 244-252.

ONG, C. K. A framework for quantifying the various effects of tree-crop interactions. In: ONG, C. K.; HUXLEY, P. (Ed.). **Tree-crop interactions: a physiological approach**. Wallingford: CAB; ICRAF, 1996. p. 1-24.

PALUDO, R.; COSTABEBER, J. A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. *Rev. brasileira de agroecologia*, v. 7, p. 63-76, 2012.

PAULA, P. D.; CAMPELLO, E. F.; GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. D. A.; RESENDE, A. S. D.. Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal. *Ciência Florestal*, v. 25, p. 791-800, 2015.

PEREIRA, J. C. R., MOREIRA, A., DE ARRUDA, M. R., & GASPAROTTO, L. Recomendação de adubação, calagem e gessagem para o cultivo da bananeira no Estado do Amazonas (2ª aproximação). **Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

PES, L.Z.; DIACOMINI, D.A. **Conservação do solo**. Colégio Politécnico, Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V; BEHLING, M; PULROLNIK, K; VILELA, L; Müller, M. D; OLIVEIRA, T. K; RIBASKI, J; RADOMSKI, M. I; PACHECO, H. T. A. R. **Implantação e Manejo do Componente Florestal em Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta**.

In: Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa. p. 81-101. 2015.

PRIMAVESI, A. M. **Manual do solo vivo**. São Paulo: Editora Expressão Popular, p. 2011, 2016.

RAMOS, C. M. C. **Distribuição do sistema radicular e consumo de água da bananeira irrigada por microaspersão**. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 269, n. 1-2, p. 341- 356, 2005.

RATKE, R. F.; DOS SANTOS, J. D. G.; DE SOUZA, J. G. P. Métodos para estudo da dinâmica de raízes. **Ciência em Foco**, p. 120, 2019.

REIS, A. T. S.; RIBEIRO, L. L. O.; OLIVEIRA, D. S.; SILVA, F. S. N.; NOBRE, H. G. Uso de sistemas agroflorestais junto à agricultura familiar do nordeste paraense como ferramenta de ensino, pesquisa e extensão. In: VII Simpósio sobre Reforma Agrária e Questões Rurais, 2016, Araraquara. **Anais do VII Simpósio sobre Reforma Agrária e Questões Rurais**. Araraquara: Uniara, 2016.

RIBEIRO, G. B. D.; ISBAEX, C.; VALVERDE, S. R. Produção de biomassa florestal para energia em sistemas agroflorestais. **Rev. Pesquisa florestal brasileira.**, Colombo, v. 37, n.92, p. 605-618, out./dez. 2017.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação de solo: causas e efeitos**. Semina Ciência Agrária, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RODRIGUES, R. L. **Utilização de leguminosa (Gliricidia sepium) em consórcio com coqueiro híbrido**. 48f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SANTOS, M. J. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental**. 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

SANTOS, M. R., COELHO, E. F., DONATO, S. L. R., & RODRIGUES, M. G. V. Distribuição de raízes e extração de água da bananeira ‘BRS Princesa’ sob diferentes configurações de irrigação. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 6, p. 513-522, 2016.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SARVADE, S.; GAUTAM, D. S.; UPADHYAY, V. B.; SAHU, R. K. SHRIVASTAVA, A. K. KAUSHAL, R.; SINGH, R.; YEWALE, A. G. Agroforestry and soil health: an overview. In: DEV, I.; RAM, A.; KUMAR, N.; SINGH, R. KUMAR, D.; UTHAPPA, A.; HANDA A. K.; CHATURVEDI, O. P. **Agroforestry for Climate Resilience and Rural Livelihood**, Scientific Publishers. Jodhpur, p. 275-297, 2019.

SAS Institute INC.SAS/STATTM SAS user's guide for windows environment. 6.11 ed. Cary: SAS Institute, 1995.

SCHROTH, G.; ZECH, W. Root length dynamics in agroforestry with *Gliricidia sepium* as compared to sole cropping in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. **Plant and Soil**, V. 170, p.297-306, 1995.

SIGNOR, D., GARCIA, U., MARQUES, E. D. O., MUNIZ, L., DEON, M., CUTRIM JUNIOR, J. A. A., & COSTA, J. Métodos de determinação do teor de C no solo sob diferentes usos da terra em Santa Inês-MA. In: **Embrapa Semiárido - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2.; SEMINÁRIO BAIANO DE SOLOS, 3., 2014, Ilhéus. Agenda de uso e conservação dos solos: por que não?: anais. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Nordeste, 2014., 2014.

SILVA, I. C. Viabilidade agroeconômica do cultivo do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) com o açazeiro (*Euterpe oleracea* L.) e com a pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) em sistema agroflorestal. **Floresta**, v. 31, n. 1/2, p. 167-168, 2000.

SILVA, M. S. C. D.; SILVA, E. M. R. D.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. D. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 431-441, 2012.

SILVA-OLAYA, A.; PELLEGRINO, C.C.; CERRI, C. Comparison of sampling methods to evaluate sugarcane root system. **Revista de Ciências Agrícolas**, v. 34, n. 1, p. 7-16, 12 jun. 2017.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p.

SOARES, R.; MADDOCK, J. E.; DE CAMPOS, D. V. B.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. D. A. Determinação dos estoques de carbono e nitrogênio nas frações físicas da matéria orgânica em solos antrópicos (Terra Preta de Índio) e não antrópicos da Amazônia Central. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021.

SOUZA, V. S.; DOS REIS, G. P. L.; SILVA, A. J. R.; AMBROSIO, L. C. R.; SCHWINGEL, E. C.; FELIPE, R. T. A. Produção agroecológica em sistema agroflorestal a partir da extensão universitária. **Anais do Seminário Regional de Extensão Universitária da Região Centro-Oeste (SEREX)(ISSN 2764-1570)**, n. 5, p. 601-609, 2021.

SRIVASTAVA, V.; SRIVASTAVA, R. Adaptive Soil Management Practices: Agroforestry Technologies. In: SRIVASTAVA, R. **Sustainable Practices for Natural resource Management: through biological tools** (p.183-202) Publisher: Bharti Publication, New Delhi, 2019.

STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES A. S.; CASSARINO, J. P.; FONINI, R. **Agrofloresta, ecologia e sociedade** (2nd ed.). Kairós Edições. 2013.

TEIXEIRA, P. C. et al (Org.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

TÉO, S. J.; MARCON, A.; DA COSTA, R. H. Poda da parte aérea, visando melhor qualidade de mudas de *Pinus taeda*, em Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 57-62, 2014.

TOLENTINO, M. L. D. L. Da Revolução Verde ao Discurso do PRONAF: a representação do desenvolvimento nas políticas públicas de desenvolvimento rural do Brasil. **Rev. Cerrados – Montes Claros/MG**, v.14, n.2, p.93-124, jul/dez-2016.

VAN NOORDWIJK, M.; LAWSON, G.; HAIRIAH, K.; WILSON, J. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity [Chapter 8]. In: Ong, C. K.; Black, C. R.; Wilson, J. **Tree-crop interactions: agroforestry in a changing climate**. 2nd ed. Wallingford, UK, CAB International, 221-257.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:849 - 858, 2003.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E.. Agrossilvicultura como Fonte Alternativa de Renda Para Produtores Rurais. **Caderno de Pesquisa, Série Biologia**, v. 22, n. 1, p. 20, 2011.

VOLK, L.B da S.; TRINDADE, J. P. P.; BORBA, M. F. S.; TRENTIN, G.. Protocolo de amostragem para determinação de atributos de raízes de plantas de campo nativo. **Embrapa Pecuária Sul-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2011.

VOLTOLINI, L. C. et al. Uso da água em sistemas agroflorestais: uma breve revisão da literatura. **Cadernos de Agroecologia**, Jaguariúna-SP, v. 13, n. 2, dez. 2018. 10 p. Trabalho apresentado ao AGROGEL, 2018, Campo Grande, MS.

WIEDER, R. K.; G. E. LANG. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, 63 (6): 1636-1642, 1982.

XAVIER, FA da S.; CARDOSO, I. M.; MENDONÇA, E. de S. Fertilidade do solo em sistemas agroflorestais. In: **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 09.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Macéio. Fertbio 2012: "a responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola":[anais...]. Maceió: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, 2012. 1 CR-ROM., 2012.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, C. A. D.; BELTRÃO, N. E. M.; ALVES, I.; JÚNIO, A. F. C.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N. OLIVEIRA, M. C. CUNHA, D. S.; MOTA, M. O. S.; SOARES, A. N.;

BARBOSA, H. F. **Práticas de conservação do solo e da água.** Campina Grande, PB: Embrapa, 2012. 24 p. (Embrapa CPAC. Circular técnica 133).