



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RAFAELA BATISTA MAGALHÃES

ASPECTOS RADICULARES DE ESPÉCIES ARBÓREO-ARBUSTIVAS EM
SISTEMA AGROFLORESTAL E SEUS EFEITOS NO SOLO

FORTALEZA

2017

RAFAELA BATISTA MAGALHÃES

ASPECTOS RADICULARES DE ESPÉCIES ARBÓREO-ARBUSTIVAS EM
SISTEMA AGROFLORESTAL E SEUS EFEITOS NO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M168a Magalhães, Rafaela Batista.
Aspectos radiculares de espécies arbóreo-arbustivas em sistema agroflorestal e seus efeitos no solo /
Rafaela Batista Magalhães. – 2017.
64 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
1. Substâncias não húmicas. 2. Policultivos. 3. Ciclagem de nutrientes. I. Título.

CDD 631.4

RAFAELA BATISTA MAGALHÃES

ASPECTOS RADICULARES DE ESPÉCIES ARBÓREO-ARBUSTIVAS EM
SISTEMA AGROFLORESTAL E SEUS EFEITOS NO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Aprovado em 08/02/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Henrique Antunes de Souza (Membro)
Embrapa Caprinos e Ovinos

Dr^ª. Adriana Guirado Artur (Membro)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus. Aos meus pais Cícero Arruda
Magalhães e Maria Núbia Batista Magalhães.
Ao meu irmão Frederico Batista Magalhães.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado oportunidades, condições e forças para lutar a cada dia.

Aos meus pais, que são o motivo de eu me esforçar a cada dia da minha vida. Por me proporcionarem a felicidade de ter uma família excepcional e condições de lutar pelos meus objetivos.

A Professora Mirian Cristina, pela ajuda, paciência, pelo incentivo e por ser uma excelente orientadora.

Ao meu irmão, Frederico Magalhães, por todo apoio e por todos momentos que vivemos juntos.

A Anderson de Melo Sindeaux, pelo apoio, confiança, paciência e companheirismo.

As minhas primas Priscila Magalhães e Rivana Magalhães, pela amizade e o carinho de sempre.

As minhas tias, tios e primos, pela confiança e por sempre me apoiarem.

Ao Dr. Henrique Antunes de Souza, pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus amigos Raiza Neves, Marcelo Clementino, Mário Vasconcelos, Francisco Araujo, Maíra Saldanha, Érica Calvet, Marina Monteiro, Caio Bezerra, Tarcísio Hugo, Ageu Araújo e Fátima Queiroz pelo apoio e amizade de sempre.

Aos meus amigos da minha turma do mestrado Isabela Cunha, Juarez Cassiano, Alan Vaz e Luis Felipe pela paciência, amizade e ajuda.

Aos meus amigos do DCS Gleiciane da Silva, Carla Danielle, Márcio Godofrêdo, Cillas Pollicarto, Thiago Leite, Edilaine da Silva, Lucas de Souza e Eduardo Monteiro pela amizade e por proporcionarem momentos ímpares.

A Isabel Cristina e Aldenia Mascena, pela amizade e ajuda no laboratório.

A CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado Demanda Social e pelo auxílio financeiro para realização dos experimentos concedidos por meio do Pró-Integração.

A Embrapa, por permitir acesso livre as suas dependências.

A todos de que alguma forma contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

Sabe-se que o semiárido brasileiro sofre consequências negativas devido às condições edafoclimáticas e ao uso indiscriminado das terras pelo homem. Os sistemas agroflorestais – SAFs são alternativas que permitem beneficiar o ambiente e o homem do campo por meio da interação entre animais, plantas anuais e perenes. Partindo da hipótese de que a quantidade e a composição das raízes finas de espécies arbóreas em SAF no semiárido afetam a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), objetivou-se analisar as raízes de espécies arbóreas de um SAF quanto aos teores de carbono, nitrogênio e lignina, e quanto à sua massa seca, bem como analisar o solo quanto aos atributos químicos de fertilidade e quanto aos teores de carbono, nitrogênio e lignina. O trabalho foi conduzido em um sistema agrosilvipastoril na Fazenda Crioula, pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, localizada no município de Sobral – CE. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais foram estudados quatro componentes arbóreo-arbustivos: A – Catingueira (*Poincianera pyramidalis*); B- Pau Branco (*Auxemma oncocalix*); C – Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*); D – Gliricídia (*Gliricidia sepium*). Nas subparcelas foram estudados dois locais de amostragem: A – dentro da projeção da copa (DC); B – fora da projeção da copa (FC). Foi realizada a análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Com exceção da *Gliricidia sepium*, todas as espécies resultaram em maiores valores na matéria seca das raízes dentro da projeção da copa. Todas as raízes das espécies estudadas apresentaram maiores teores de carbono (C) e nitrogênio (N) quando coletadas dentro da área de projeção. O *Auxemma oncocalix* resultou no maior teor de lignina e relação lignina/nitrogênio dentro copa. As menores médias para cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V%) no solo ocorreram associadas à *Gliricidia sepium*, enquanto as maiores foram associadas a *Auxemma oncocalix* e a *Poincianera pyramidalis*. Ao analisar a área de coleta, o tratamento DC resultou em maiores médias apenas para os teores de fósforo (P) e H+Al no solo. A espécie *Poincianera pyramidalis* resultou em maiores valores para C e as espécies *Auxemma oncocalix* e a *Poincianera pyramidalis* resultaram em maiores teores de N do solo dentro da área de projeção da copa. A espécie *Auxemma oncocalix* resultou em maior teor de lignina no solo dentro da área de projeção da copa. Conclui-se que a partir dos resultados dos atributos químicos analisados aceita-se a hipótese de que a

quantidade e a composição das raízes finas de espécies leguminosas arbóreas em SAF no semiárido afetam a adição de matéria orgânica do solo dos pontos de vista quantitativo e qualitativo. Por apresentar menores teores dos atributos químicos e menores valores da relação lignina/nitrogênio dentre as espécies estudadas, a *Gliricidia sepium* é a que contribui menos para melhoria do solo no SAF a longo prazo. Dentre as espécies estudadas, a *Poincianera pyramidalis* e *Auxemma Oncocalix*, apresentam maiores valores de lignina/nitrogênio, resultando assim em melhoria a longo prazo associado a uma matéria orgânica do solo que demora mais para se decompor.

Palavras chaves: substâncias não húmicas. policultivos. ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

It is known that the Brazilian semi-arid region suffers negative consequences due to environmental conditions and the indiscriminate use of land by man. Agroforestry systems - AFS are alternatives for benefiting the environment and the farmer through the interaction between animals, annuals and perennials. Based on the hypothesis that the amount and composition of the fine roots of arboreal species in AFS in the semi-arid region affect the quantity and the quality of the organic matter of the soil (OMS), the objective was to analyze the arboreal roots of an AFS in relation to the contents of Carbon, nitrogen and lignin, as well as their dry mass, as well as to analyze the soil for the chemical attributes of fertility and for the contents of carbon, nitrogen and lignin. The work was conducted in an agrosilvipastoral system at Fazenda Crioula, belonging to Embrapa Caprinos e Ovinos, located in Sobral - CE. The design was completely randomized (CRD), with subdivided plots and five replications. In the main plots were studied five arboreal-shrub components: A – Catingueira (*Caesalpinea bracteosa Tul*); B- Pau Branco (*Auxemma oncocalix*); C – Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*); D – Gliricídia (*Gliricidia sepium*). In the subplots, two sampling places were studied: A - within the crown projection; B - out of the crown projection. The analysis of the variance was performed and the average was compared by the Tukey test at 5% probability. With the exception of *Gliricidia sepium*, all species resulted in higher dry matter values of the roots within the crown projection. All roots of the studied species presented higher values of carbon (C) and nitrogen (N) when collected, within the projection area. *Auxemma oncocalix* resulted in higher lignin content and lignin/nitrogen ratio inside the crown. *Auxemma oncocalix* resulted in higher lignin content and lignin / nitrogen ratio in canopy. The lowest averages for calcium (Ca), magnesium (Mg), cation exchange capacity (CEC), sum of bases (SB), potential acidity (H+Al) and base saturation (V%) in soil occurred associated with *Gliricidia sepium*, While the largest are associated with *Auxemma oncocalix* and *Poincianera pyramidalis*. When analyzing the collection area, the DC treatment resulted in higher averages only for the values of phosphorus (P) and H+Al in the soil. The species *Poincianera pyramidalis* resulted in higher values for C and species *Auxemma Oncocalix* and *Poincianera pyramidalis* resulted in higher N values of the soil within the area of crown projection. The species *Auxemma oncocalix* resulted in higher lignin content in the soil within the area of crown projection. It is concluded that from the results of the chemical attributes analyzed the hypothesis is accepted that the quantity and

the composition of the fine roots of arboreal leguminous species in AFS in the semiarid affect the addition of organic matter of the soil from the quantitative and qualitative view. Because of the lower levels of chemical attributes and lower values of the lignin / nitrogen ratio among the species studied, *Gliricidia sepium* is the one that contributes less to soil improvement in AFS in the long term. Among the species studied, *Poincianera pyramidalis* and *Auxemma Oncocalix*, present higher values of lignin / nitrogen, resulting in long - term improvement associated to an organic soil matter that takes longer to decompose.

Keywords: non-humic substances. polyculture. nutrient cycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplar de Pau Branco (<i>Auxemma oncocalix</i>) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense	25
Figura 2 – Exemplar de Catingueira (<i>Caesalpineia bracteosa</i> Tul) em um LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense	27
Figura 3 – Exemplar de Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense	28
Figura 4 – Exemplar de Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense	29
Figura 5 – Localização da área de estudo pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos no município de Sobral-CE	30
Figura 6 – Localização dos componentes arbóreos-arbustivas (C - <i>Poincianera pyramidalis</i> ; PB - <i>Auxemma oncocalix</i> ; S - <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> ; G - <i>Gliricidia sepium</i>) no sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE	31
Figura 7 – Coleta do solo e das raízes com sonda no sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE	32
Figura 8 – Raízes finas lavadas e secas de componentes arbóreo-arbustivas de um sistema agroflorestal (SAF) localizado no município de Sobral-CE	33
Figura 9 – Gráficos de correlação entre a lignina na raiz e a lignina no solo das espécies A - <i>Poincianera pyramidalis</i> (Catingueira), B - <i>Auxemma oncocalix</i> (Pau Branco), C - <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> (Sabiá) e D - <i>Gliricidia sepium</i> (Gliricídia)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do solo de sistema agroflorestal (SAF) no semiárido, localizado no município de Sobral-CE	32
Tabela 2 – Resumo da ANOVA e interação dos valores de massa seca das raízes finas dos componentes arbóreos-arbustivas de sistema agroflorestal (SAF) pertencente à EMBRAPA Caprinos e Ovinos e localizado no município de Sobral-CE	36
Tabela 3 – Teores de nitrogênio (N), carbono (C) e relação C/N nas raízes dos componentes arbóreo-arbustivas estudados pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE	38
Tabela 4 – Valores médios, teste F e coeficiente de variação para teor de lignina nas raízes em estrato arbóreo-arbustivas em sistema agroflorestal em Sobral-CE ..	40
Tabela 5 – Valores da relação Lignina/Nitrogênio nas raízes dos componentes arbóreos-arbustivas estudados, pertencentes pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE	41
Tabela 6 – Teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), soma de bases (SB), CTC, pH, acidez potencial (H+Al) e saturação de bases no solo sob as espécies em um sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa no município de Sobral-CE	43
Tabela 7 – Teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), soma de bases (SB), CTC, pH, acidez potencial (H+Al) e saturação de bases no solo da área experimental, dentro da projeção da copa (DC) e fora da projeção da copa (FC) de sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa no município de Sobral-CE	45
Tabela 8 – Resumo da ANOVA e teor de carbono e nitrogênio no solo em função das espécies vegetais e da área de coleta, em sistema agroflorestal (SAF) pertencente à EMBRAPA, localizada no semiárido cearense, Sobral-CE	47
Tabela 9 – Resumo da ANOVA e teor de lignina no solo em função das espécies vegetais e da área de coleta em sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa, no município de Sobral-CE	49

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1.	Semiárido	15
2.2.	Uso do solo em regiões semiáridas e a degradação ambiental	16
2.3.	Sistemas Agroflorestais (SAFs)	17
2.4.	Importância dos componentes arbóreos dos SAFs na qualidade da matéria orgânica do solo	20
2.5.	Componentes arbóreos	24
2.5.1.	<i>Pau Branco (Auxemma onocalix)</i>	24
2.5.2.	<i>Catingueira (Poincianera pyramidalis)</i>	25
2.5.3.	<i>Gliricídia (Gliricidia sepium)</i>	27
2.5.4.	<i>Sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia)</i>	28
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Descrição da área	30
3.2	Descrição dos tratamentos, coleta das amostras e análises	31
3.3	Análises das raízes	33
3.4	Análises químicas do solo	34
3.5	Análises estatísticas	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	Massa seca das raízes	36
4.2.	Análise química das raízes	37
4.3.	Análise química do solo	41
5.	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são aqueles que envolvem o manejo e o consórcio entre árvores, animais e cultivos agrícolas. São utilizados como alternativa aos modelos convencionais, possuindo inúmeras vantagens que vão desde a proteção do solo contra erosão à geração de renda para os agricultores. Ao utilizar esses sistemas, os agricultores podem obter renda a curto, médio e longo prazo, favorecendo assim sua permanência no campo.

O semiárido brasileiro passa por diversas alterações antrópicas que favorecem a degradação ambiental. Essas alterações, somadas a solos frágeis e às condições climáticas, em alguns casos, podem levar à desertificação. Os SAFs podem ser adotados como alternativa de uso mais sustentável e até para a recuperação de solos degradados nessas regiões.

Os SAFs favorecem a recuperação dos solos, pois proporcionam maior cobertura atuando como proteção contra os agentes erosivos, formam microclima favorável proporcionado pela copa das árvores e melhoram a fertilidade do solo por adicionar matéria orgânica que, conseqüentemente, favorecerá a biota do solo. Deve-se também destacar o papel dos componentes arbóreos por meio de suas copas e de suas raízes. Uma das funções da copa das árvores é proteger o solo contra os impactos diretos das gotas de chuva e contra a radiação solar, enquanto que as raízes atuam na sustentação das plantas e na absorção de água e nutrientes.

As raízes dos componentes arbóreos dos SAFs também contribuem com a melhoria da qualidade do solo, pois, juntamente com as folhas e galhos que caem da copa das árvores, são convertidas em matéria orgânica, contribuindo com o aumento dos teores dessa matéria orgânica e melhorando a composição química da mesma. As espécies arbóreas apresentam raízes com características distintas nos aspectos quantitativos e qualitativos, de modo que sua composição química pode variar e influenciar a qualidade da matéria orgânica do solo que será formada na medida em que as raízes se decompõem.

Neste estudo partiu-se da hipótese de que a quantidade e a composição das raízes finas de espécies leguminosas arbórea-arbustivas em SAF no semiárido afetam a adição de matéria orgânica do solo dos pontos de vista quantitativo e qualitativo. Os objetivos

do estudo foram: a) analisar as raízes quanto aos teores de carbono, nitrogênio e lignina; b) analisar a massa seca das raízes; c) analisar o solo quanto aos atributos químicos de fertilidade, bem como quanto aos teores de carbono, nitrogênio, lignina, dentro e fora da projeção da copa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semiárido

O semiárido brasileiro possui extensão territorial de 969.589 km² distribuídos em 1.033 municípios localizados nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (BRASIL, 2005). O clima dessa região é caracterizado pela escassez e irregularidades das chuvas. A pluviosidade varia de 300 a 500 mm/ano e a precipitação é limitada a poucos meses do ano. Contudo, nas regiões serranas, a pluviosidade pode atingir 1.500 a 2.000 mm ano (CORREIA *et al.*, 2011).

Devido aos elevados níveis de radiação solar que incidem sobre as áreas de baixas latitudes, ocorre aumento da taxa evapotranspiratória que, conseqüentemente, diminui a umidade do solo e o volume de água nos reservatórios hídricos. A evapotranspiração elevada, somada à precipitação reduzida e variável durante o ano, cria um balanço hídrico climático anual negativo (ARAÚJO FILHO *et al.*, 1995; CORREIA *et al.*, 2011).

A grande variedade de paisagens e ambientes é uma característica marcante da região semiárida. A variação do relevo dessa região é significativa, de modo que essa característica contribui para grandes números de unidades de paisagem. A altitude média do semiárido fica entre 400 e 500 m, mas pode chegar a atingir 1.000 m (CORREIA *et al.*, 2011).

De acordo com Jacomine (1996) a região semiárida pode ser dividida em áreas que se enquadram em três grupos a partir do material de origem: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares. Os solos sobre a base cristalina possuem baixa profundidade, menor capacidade de infiltração e drenagem natural e elevado escoamento superficial. Já os solos encontrados sobre a base sedimentar apresentam profundidade elevada, boa drenagem natural e capacidade de infiltração e menor escoamento superficial (GIONGO *et al.*, 2011). Em relação ao ecossistema, Correia *et al.* (2011) afirmam que a Caatinga predomina na região que possui uma flora formada por árvores e arbustos que apresentam como características rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região.

Em consequência da heterogeneidade da litologia e do material de origem, do regime de umidade do solo e do relevo, ocorre a formação de diferentes tipos de classes de solo no semiárido brasileiro (JACOMINE, 1996). O semiárido brasileiro possui 68% do seu território dividido com quatro ordens predominantes de solo: 21% de Latossolos, 19% de Neossolos Litólicos, 15% de Argissolos e 13% Luvisolos (JACOMINE *et al.*, 1977). Segundo Giongo *et al.* (2011) os solos da região semiárida possuem a fração areia superior à fração silte e argila. Geralmente, os solos do semiárido possuem o pH em torno da neutralidade, condição química boa, e são solos poucos profundos (CHAVES; KINJO, 1987).

2.2 Uso do solo em regiões semiáridas e a degradação ambiental

Os recursos naturais do semiárido nordestino estão ficando cada vez mais degradados devido ao uso indiscriminado do solo e à retirada da vegetação nativa. Nessa região predominam sistemas agropecuários essencialmente extrativistas. Utiliza-se uma pecuária que promove o superpastoreio, enquanto a agricultura está associada ao desmatamento, queimadas e pousios irregulares. Ocorre extração indiscriminada de madeira que serve para uso familiar e como combustível para indústrias de cerâmicas e fornos de padarias (ARAÚJO FILHO, 2002). Aliando remoção da vegetação nativa do semiárido, extensos períodos de seca e chuvas intensas na quadra chuvosa, tem-se o favorecimento da degradação do solo devido à ausência de cobertura vegetal e exposição do solo aos agentes erosivos. Com isso, o potencial produtivo do solo decresce e outros danos irreversíveis são causados ao ambiente (TREVISAN *et al.*, 2002).

A ocupação de áreas inaptas, a implantação de pastagens a partir do desmatamento e o superpastoreio podem contribuir com a compactação do solo, dificultando a infiltração de água e proporcionando o escoamento de água que arrasta sedimentos (FARIAS *et al.*, 2013). Em regiões semiáridas a pecuária extensiva ou semiextensiva passa a ser a causa de problema ambiental devido ao excesso da lotação de animais, superando a taxa de lotação do ambiente. Em consequência do pisoteio, o superpastoreio contribui para a degradação do solo e da vegetação aumentando a susceptibilidade das áreas à desertificação (PARENTE; MAIA, 2011).

Em grande parte das propriedades rurais do semiárido, as práticas agrícolas tradicionais, tais como desmatamento, uso do fogo e realização de cultivos até exaurir a fertilidade natural do solo, provocam danos ao ambiente podendo levar à sua degradação

e ao aparecimento de problemas sociais e econômicos. Para Farias *et al.* (2013) os desmatamentos na região semiárida podem provocar processos irreversíveis de degradação devido à baixa capacidade de regeneração desses solos. Já Sampaio; Araújo; Sampaio (2005) afirmam que a remoção da cobertura original do solo do bioma Caatinga é um dos indicadores iniciais do processo de degradação e desertificação. No entanto, se a cobertura natural for preservada, a probabilidade de degradação é pouca. O processo de desertificação na região tem a tendência de começar a partir do desmatamento.

Como exemplo da degradação ambiental em outras regiões semiáridas do mundo, Zhao *et al.* (2005), ao estudar uma região semiárida no norte da China, concluíram que o cultivo da pastagem e lavoura resultou em significativa degradação do solo. Já em área semiárida do Mediterrâneo, Karamesouti *et al.* (2015) observaram que transformações no uso da terra e nas práticas de manejo resultaram em efeito significativo na degradação do solo. Wezel e Bender (2005), ao avaliar uma área no semiárido da Cuba, encontraram uma área de pastagem natural e com vegetação lenhosa altamente degradada, cuja situação só pode ser revertida mediante grandes esforços para recuperação. Segundo os mesmos autores, a maior parte da degradação que acontece na área avaliada do semiárido cubano se deve à retirada da vegetação para fabricação de lenha e carvão.

Sabe-se que a agropecuária na região semiárida é umas das práticas mais impactantes que leva à degradação. Assim, surge a importância da adoção de práticas alternativas de uso do solo que viabilizem a produção agropecuária e diminuam os impactos que levam à degradação ambiental.

2.3 Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem alternativa mais sustentável de uso do solo. Os SAFs são combinações entre árvores, arbustos, plantios agrícolas e/ou animais, numa sequência temporal e no mesmo local, nas quais se procura otimizar valores ambientais e socioeconômico-culturais (JÚNIOR *et al.*, 2003). O Centro Mundial Agroflorestal define os SAFs como combinação de árvores em áreas rurais produtivas, realçando sua importância tanto nos sistemas de cultivo quanto na paisagem. De acordo com Santos (2000) os sistemas agroflorestais podem ser determinados como o tipo de uso integrado da terra para fins de produção agrícola, pecuária e florestal.

Os componentes básicos dos sistemas agroflorestais são as árvores, animais e os cultivos. Os aspectos funcionais e estruturais são responsáveis pela caracterização dos sistemas, sendo divididos em três categorias: silviagrícolas, silvipastoris e agrossilvipastoris. Os sistemas silviagrícolas podem ser denominados também de agrossilvícolas ou agrossilviculturais, nos quais são combinadas uma ou mais espécies florestais com cultivos agrícolas anuais ou perenes (MACEDO, 2000; PALUDO; COSTABEBER, 2012). As espécies florestais podem ser usadas com a função de proteção, contribuindo para o controle da erosão, e com a função de produção, com destaque para a produção de alimentos. A associação nesse tipo de sistema pode ser permanente ou temporária (SILVA, 2008). Como exemplo de sistemas silviagrícolas pode-se citar: Sistema Taungya, Sistema Alley-cropping e Sistema de Policultivos Multiestratificados.

Os sistemas agrossilvipastoris constituem modelo que integram lavoura, pecuária e floresta na mesma área. Segundo Cavalcante *et al.* (2007), a criação de sistemas agrossilvipastoris que usam princípios da agroecologia para unir as atividades da pecuária, agricultura e produção de madeira é uma opção de tecnologia sustentável e pode servir para incluir agricultores familiares em comércio de produtos ecologicamente produzidos.

Os sistemas silvipastoris podem ser definidos como a combinação entre pastagens e animais com uma ou mais espécies arbóreas. Os serviços ambientais e os produtos produzidos pelas árvores são fundamentais para manter a sustentabilidade do ambiente. Existem sistemas silvipastoris em que o produto animal é o principal, enquanto em outros SAFs, o produto principal vem do componente arbóreo, como o látex, frutas e celulose. Formar sistemas com menores chances de degradação ambiental é umas das vantagens dos sistemas silvipastoris, principalmente os que usam espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio (CARVALHO, 2005).

Os sistemas silvipastoris beneficiam o solo por meio da ciclagem de nutrientes, de modo que as raízes das árvores absorvem os nutrientes que estão em camadas mais profundas e, posteriormente, esses nutrientes serão devolvidos à camada superficial do solo por meio da queda das folhas e das raízes que irão se decompor. As raízes das árvores funcionam retendo os nutrientes que seriam perdidos por lixiviação, além de utilizar a água localizada em profundidades maiores que não seria utilizada pelas raízes das plantas

de menor porte (GYEGEN *et al.*, 2002; DIAS FILHO, 2006). Adicionalmente, Castro *et al.* (2008) concluíram que o sistema silvipastoril favorece o desempenho produtivo e o conforto térmico dos animais em relação ao sistema tradicional. Segundo os autores isso ocorre devido ao sombreamento que aumenta o conforto animal e favorece a sustentabilidade da pecuária.

De acordo com Mafra *et al.* (1998), os sistemas agroflorestais podem associar a produção de alimentos com a conservação de recursos naturais, permitindo o uso mínimo de fertilizantes devido a reciclagem dos nutrientes. A partir da combinação da biodiversidade da área com a produção agrícola, os SAFs são utilizados como ferramenta na busca por sustentabilidade na área rural (BHAGWAT *et al.*, 2008).

Os SAFs representam inúmeros benefícios ambientais, dentre os quais se destacam: melhor equilíbrio da umidade relativa do ar, da temperatura do ambiente e da umidade do solo (RISBASKI *et al.*, 2002); sequestro de gás carbônico; preservação de nascentes e cursos d'água; preservação de tipos arbóreos e utilização como corredor ecológico ligando parcelas de florestas.

De acordo com Macedo (2000), uma das vantagens mais conhecida dos SAFs é a conservação do solo, mantendo sua fertilidade e qualidade. As características físico-químicas do solo são melhoradas significativamente com a utilização de sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas. As implicações do manejo desses sistemas no controle da fertilidade do solo podem ser consideradas como uma causa direta no controle da erosão, além da proteção proporcionada pelas árvores, seja por meio de sua copa ou da serapilheira depositada sobre o solo (YOUNG, 1997).

Sabe-se que os SAFs são reconhecidos como um método de convivência com o semiárido, no qual se pode garantir a segurança alimentar e nutricional do ambiente rural e recuperar áreas degradadas (NUNES, 2014). Para Aguiar (2006), os sistemas agroflorestais ajudam a estabelecer modelos de produção mais regulares, principalmente na região semiárida.

Diversos estudos sobre SAFs têm sido realizados no semiárido brasileiro a fim de mostrar seus benefícios. A partir desses estudos foi observado que os SAFs aumentam a disponibilidade de nutrientes e biomassa no solo (IWATA *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*,

2013), beneficiam a qualidade do solo (MAIA *et al.*, 2006) e promovem a manutenção da matéria orgânica (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Em estudos realizados em SAF no município de Sobral (CE) foi constatado que ocorre a conservação *in situ* de espécies vegetais nativas (CAMPANHA *et al.*, 2011) que proporcionam maior concentração de fósforo no solo (NOGUEIRA *et al.*, 2008), ocorre redução nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão (AGUIAR *et al.*, 2006), há favorecimento do índice de manejo do carbono (OLIVEIRA *et al.*, 2009), há maior qualidade física e estrutural do solo quando comparado com o solo sob cultivo intensivo (SILVA, 2008) e o solo torna-se mais resistente e resiliente (FIALHO, 2013).

Estudos realizados em diferentes regiões do mundo também servem como indicativos dos benefícios dos SAFs para os solos de regiões semiáridas. A partir de estudos realizados no Sahel e no Quênia, foi constatado que os SAFs são importantes sequestradores de carbono (TAKIMOTO *et al.*, 2008) e as plantas lenhosas possuem a capacidade de aumentar a disponibilidade de água e nutrientes no solo (BREMAN; KESSLER, 1997).

2.4 Importância dos componentes arbóreos dos SAFs na qualidade da matéria orgânica do solo

Os componentes arbóreos presentes no SAFs possuem importância ambiental para o funcionamento adequado do sistema. Esses extratos lenhosos possuem a capacidade de armazenar carbono em quantidades significativas acima do solo por meio de sua parte aérea, e abaixo do solo por meio das raízes das árvores (NAIR, 2012; JOSE; BARDHAN, 2012).

Além da vantagem ambiental, os componentes arbóreos dos SAFs proporcionam vantagem agrícola. Ao se incorporar extratos lenhosos que possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, no caso as leguminosas, o solo conseqüentemente apresentará aumento nos teores de nitrogênio. Para Mahieu *et al.* (2016) a incorporação de árvores leguminosas nos SAFs de regiões de clima mediterrâneo e temperado ajuda a aumentar os teores de nitrogênio do solo.

As árvores têm funções múltiplas nos sistemas silvipastoris (NICODEMO *et al.*, 2004), contribuindo com a geração de renda (ARATO *et al.*, 2003), mas também com

serviços ambientais, tais como regulação dos ventos, da evapotranspiração, da temperatura e da passagem de luz (MONTROYA 1982; YOUNG 1997; LIMA; GANDOLFI, 2009).

No que se refere à qualidade do solo, as árvores nos SAFs contribuem com controle da erosão hídrica. Segundo Houghton (1984), as árvores diminuem o impacto das gotas da chuva no solo, aumentam a quantidade de água infiltrada, promovem a manutenção da quantidade apropriada de matéria orgânica na superfície do solo e contribuem com a agregação. As árvores contribuem com o aumento nos teores de matéria orgânica e dos nutrientes do solo por meio da adição de biomassa (XAVIER *et al.*, 2003; DIAS *et al.*, 2006).

As espécies arbóreas contribuem para a disponibilidade de nutrientes nos SAFs, tanto por meio da deposição da parte aérea, quanto pela decomposição das raízes. Por possuírem mecanismos eficientes, como a fixação de nitrogênio e a capacidade de produzir quantidades elevadas de biomassa aérea e radicular, as espécies arbóreas tropicais podem ajudar na ciclagem de nutrientes e no teor de matéria orgânica do solo (DUARTE, 2011).

Nos SAFs ocorre ciclagem de nutrientes em quantidades mais equilibradas devido ao aporte contínuo de material advindo da parte aérea que apresenta composição diversificada (DUARTE, 2007). O aporte de resíduos de espécies florestais que irão fornecer nutrientes para o solo em SAFS pode ocorrer por meio do manejo com a realização de podas periódicas, ou de forma natural por meio da queda de folhas, ramos e frutos.

O manejo dos SAFs influencia diretamente a fertilidade do solo, de forma positiva, por meio da adubação verde feita pelos resíduos das podas de leguminosas e, de forma negativa, por meio da retirada dos resíduos vegetais da área de influência das espécies podadas. Para Silveira *et al.* (2007) a poda de componentes vegetais no SAF contribui com a ciclagem de nutrientes e promove o aumento da quantidade de nutrientes na serapilheira. Já Nascimento (2016) encontrou menores valores de atributos de fertilidade do solo na área de influência sob uma leguminosa adubadora.

Em relação ao papel das raízes nos SAFs, sabe-se que elas possibilitam maior distribuição dos nutrientes do solo ao longo do perfil (IWATA *et al.*, 2012) e conduzem

ao uso complementar dos recursos por ocuparem camadas diferentes no solo (FERNANDEZ *et al.*, 2008). As raízes mais profundas ajudam na obtenção de água e na manutenção de raízes superficiais (NICODEMO, 2011), aproveitam os nutrientes localizados em profundidades maiores (COSTA *et al.*, 2009) e ajudam a melhorar a infiltração de água no solo (SANCHEZ, 1995). Além da parte aérea, as raízes das plantas também contribuem com a qualidade do solo nos SAFs.

O sistema radicular pode ser caracterizado conforme dois aspectos: sua arquitetura, relacionando a forma, direção e distribuição das raízes maiores, e sua intensidade, ou seja, a presença de pequenas raízes que atuam na absorção de água e nutrientes (KAHN, 1977; PRITCHETT, 1979). Já Vogt *et al.* (1989) descrevem que as raízes podem ser separadas de acordo com seu tamanho e morfologia. São três categorias apresentadas: raízes grossas, com baixa taxa de regeneração; raízes médias com baixa taxa de regeneração; raízes finas, com alta taxa de regeneração.

As raízes finas presentes nos componentes arbóreos se destacam pelas suas funções primárias, absorção de nutrientes e água e também pela rápida regeneração que irá influenciar na adição de matéria orgânica ao solo, a qual será importante na regulação dos ciclos do carbono e nitrogênio (WEST *et al.*, 2004).

As raízes finas das plantas constituem uma das principais formas pelas quais o carbono entra no solo, o que as tornam importantes para o ciclo global do carbono (VOGT, 1991; JANSSENS *et al.*, 2002). Rasse *et al.* (2005) citam autores trabalhando com a hipótese de que o carbono do solo é formado, em sua maior parte, pelo carbono da raiz, o qual aumenta com a profundidade. De acordo com Silver *et al.* (2005), o estoque total e o tempo de reciclagem de carbono no solo podem ser influenciados pela produção e decomposição das raízes.

As raízes finas, além de contribuírem com o aumento do carbono, podem contribuir também com o aumento dos teores de nutrientes no solo. Segundo Gordon e Jackson (2000) as raízes finas são importantes fontes de nutrientes. Já Silver e Miya (2001) concluíram que a decomposição das raízes desempenha um papel-chave na ciclagem de nutrientes e no sequestro de carbono. McClaugherty *et al.* (1982), ao trabalharem com ecossistemas florestais, concluíram que grande parte do nitrogênio e da matéria orgânica do solo é devida à alta produção anual e à decomposição das raízes finas.

Caso haja leguminosas dentre os componentes arbóreos de um SAF, o potencial de melhorias em termos de disponibilidade de nutrientes é ainda maior. De acordo com Nogueira *et al.* (2012), as árvores leguminosas resultam em matéria orgânica do solo que estimula vários processos químicos e físicos, beneficiando a fertilidade. Para Van Noordwijk e Dommergues (1990), as raízes das árvores que fixam nitrogênio apresentam maior quantidade de nódulos quando estão em contato com plantas que não fixam, de modo que a transferência de nitrogênio de uma para a outra irá aumentar. Além disso, raízes de leguminosas podem formar associações que vão favorecer maior captação de nutrientes (WINCKLER CALDEIRA *et al.*, 1999).

De acordo com Silva (2007) a relação C/N possui importância na decomposição da matéria orgânica do solo, de modo que a partir dessa relação se obtém informações sobre o estado de humificação. Os materiais orgânicos possuem maiores valores de carbono em relação ao nitrogênio. Materiais orgânicos que possuem valores menores de relação C/N são decompostos com maior velocidade no solo. Leguminosas presentes no ambiente fornecem nitrogênio (N) ao sistema e uma matéria orgânica com relação C/N baixa, cuja decomposição deverá ser mais rápida (CALEGARI *et al.*, 1993; ANDREOLA *et al.*, 2000; PAULINO, 2008). Entretanto, a decomposição das raízes não é influenciada apenas pela relação C/N, mas também pela presença de lignina.

De acordo com Thevenot *et al.* (2010) a lignina é uma das moléculas mais estudadas em ambientes naturais e, durante as últimas décadas, foi considerada como importante componente para o ciclo do carbono no solo. A lignina é um composto presente no material vegetal que vai influenciar diretamente na decomposição.

De acordo com Flaig (1964), a lignina se decompõe mais lentamente do que outros componentes presentes na matéria orgânica. Devido a maior recalcitrância de sua estrutura química, formada por macromoléculas bidimensionais e tridimensionais amorfas ligadas à celulose, a lignina possui maior resistência à decomposição por microrganismos (CARVALHO *et al.*, 2010). As características do solo, clima, da composição da vegetação e o uso do solo influenciam na degradação da lignina. A quantidade de lignina diminui com o aumento das frações granulométricas, ao mesmo tempo em que o grau de degradação aumenta (THEVENOT *et al.* 2010).

Para Castanho (2005), o teor de lignina e a relação lignina/N influenciam diretamente a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo. Segundo Rasse *et al.* (2005), a lignina e o nitrogênio podem aumentar a recalcitrância química das raízes, ou seja, quanto maiores os teores de lignina e nitrogênio presentes nas raízes, menor a degeneração. Conseqüentemente, as espécies arbóreas cujas raízes possuem maior relação lignina/nitrogênio devem resultar em menor teor de matéria orgânica do solo e em menor disponibilidade de nutrientes.

De acordo com Malavasi *et al.* (2016) a lignina possui papel na fixação do dióxido de carbono atmosférico, por meio do espessamento das plantas adultas e do ciclo do carbono. Da mesma forma Batalha *et al.* (2000) afirmam que devido a elevada retenção (em torno de 30% de $1,4 \times 10^{12}$ kg de carbono sequestrado) de carbono em material vegetal terrestre, a lignina é um importante sumidouro para esse elemento. Torres *et al.* (2014) observaram que o carbono da lignina permaneceu por mais tempo do que o carbono da celulose em solos de região semiárida.

Os SAFs promovem a sustentabilidade do ambiente por meio da diversidade biológica de espécies vegetais, na qual utilizam nichos diversificados no sistema (MACEDO, 2000). Nos SAFs do semiárido é possível ter diferentes espécies no componente arbóreo, de leguminosas a não leguminosas. Essas espécies produzem diferentes quantidades de raízes, de composição variada, podendo influenciar na formação e na qualidade da MOS e na liberação de nutrientes.

2.5 Componentes arbóreos em SAFs no semiárido brasileiro

2.5.1 Pau Branco (*Auxemma oncoocalix*)

O *Auxemma oncoocalix* (Figura 1) é uma planta arbórea que pertence à família Boraginácea. Possui crescimento rápido, no qual pode chegar até 15 metros de altura e o seu sistema radicular é lateral. Pode ser encontrada no sertão cearense, em áreas de baixa e média altitudes, e com predomínio nos solos das classes LUVISSOLOS CRÔMICO Órticos, ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS HÁPLICOS (ARAÚJO FILHO, 2013).

As folhas do *Auxemma oncoocalix*, quando verde, são consumidas regularmente, mas quando secas possuem pequena participação na dieta dos ruminantes, a qual pode

alcançar valores menores de 5% (ARAÚJO FILHO, 2013). Ao analisar a quantidade de lignina nos diferentes estágios fenológicos, Araújo Filho (2013) obteve 20,9% na vegetação plena, 18,8% na frutificação e 20,2% na fase de dormência.

De acordo com Carvalho (2008) sua madeira é de boa qualidade para a fabricação de móveis e para construções pesadas, além de ser resistente ao ataque de fungos e cupins. Também pode ser utilizada para produção de carvão e uso medicinal.

É indicada para os sistemas agroflorestais devido a sua utilidade como quebra vento e faixas arbóreas mistas entre as plantações (CARVALHO, 2008). Pode ser utilizada em áreas para conservar e criar de abelhas (SILVA *et al.*, 2012).

Figura 1 – Exemplar de Pau Branco (*Auxemma oncocalix*) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense.



Fonte: O próprio autor.

2.5.2 Catingueira (*Poincianera pyramidalis*)

A *Poincianera pyramidalis* (Figura 2) é uma planta arbórea, da família das leguminosas que pode chegar a 10 metros de altura. Possui o sistema radicular com raiz pivotante pouco pronunciada (ARAÚJO FILHO, 2013). As vagens, ao ficarem secas, estouram para lançar as sementes e, durante a estação da seca, suas folhas podem cair completamente (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010). No período das chuvas as folhas da *Poincianera pyramidalis* não são consumidas pelos animais, supostamente por apresentarem um odor desagradável. Quando secas podem ser consumidas, chegando a contabilizar até 35% na participação da dieta dos animais durante a estação da seca (ARAÚJO FILHO, 2013). O teor de lignina muda de acordo com o estágio fenológico, no qual 6,6% na vegetação plena, 12,7% na frutificação e 11,7% na dormência. É uma árvore encontrada nos sertões do nordeste brasileiro de baixa a elevada altitude, na maior parte dos solos, predominando nos LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos e em ARGISSOLOS (ARAÚJO FILHO, 2013).

De acordo com Maia (2004), a *Poincianera pyramidalis* apresenta potencial econômico devido ao seu potencial para reflorestamento, ao uso medicinal, rusticidade e aproveitamento da madeira. Sua madeira é utilizada para produção de lenha, carvão, cercas e pequenas construções. Segundo Albuquerque *et al.* (2010) a *Poincianera pyramidalis* é usada em projetos de reflorestamento na Caatinga.

Possui importância nos sistemas agroflorestais devido ao auxílio para a circulação de nutrientes no sistema e a elevada quantidade de nitrogênio presente nas suas folhas que se degradam rapidamente ao caírem no solo (ARAÚJO FILHO, 2013).

Figura 2 - Exemplar de Catingueira (*Poincianera pyramidalis*) em um LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense.



Fonte: O próprio autor.

2.5.3 **Gliricídia** (*Gliricidia sepium*)

A *Gliricidia sepium* (Figura 3) é uma planta arbórea perene da família Fabaceae (ARAÚJO FILHO, 2013). É nativa do México, América do Sul e Central, possui porte médio e a altura pode variar de 12 a 15 metros. É uma planta que se desenvolve melhor em ambientes quentes e úmidos (CARVALHO FILHO *et al.*, 1997). De acordo com Andrade *et al.* (2014) o sistema radicular da *Gliricidia sepium* é bem desenvolvido e permite que a planta suporte períodos de até 8 meses de seca.

Foi introduzida no nordeste brasileiro na década de 1980 e desde desse período vem sendo utilizada de diferentes formas, tanto como forrageira de alto valor nutritivo como planta medicinal. A resistência à seca é uma das características mais marcantes na *Gliricidia sepium*, que ocorre devido à facilidade de propagação por semente, rápido

crescimento e a alta capacidade de regeneração (DRUMOND e CARVALHO FILHO, 2000). A *Gliricidia sepium* possui vantagens em relações às outras por plantas que são ricas em proteínas, nas quais são a possibilidade de plantio por mudas, sementes ou estaquia e ser menos vulnerável ao ataque de formigas cortadeiras (SÁ et al., 2012).

Segundo Sá *et al.* (2012) a *Gliricidia sepium* pode ser usada como forragem na alimentação de animais, como adubo verde, árvore que promove sombra e a recuperação de solos degradados, em SAFs e como cercas vivas. Devido a alta sobrevivência, resistência ao fogo e a fácil rebrota, Perino (1979) indica a *Gliricidia sepium* para o controle da erosão e estabilização de terraços.

Figura 3 – Exemplar de Gliricídia (*Gliricidia sepium*) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense.



Fonte: O próprio autor.

2.5.4 Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*)

A *Mimosa caesalpiniaefolia* (Figura 4) é uma planta da família das Cesalpináceas encontrada em sítios ecológicos do Nordeste. Pode chegar até 9 metros de altura, com sistema radicular lateral e caule espinhoso. Ao analisar a *Mimosa caesalpiniaefolia* em diferentes fases do ciclo fenológico, Araújo Filho (2013) observou que o teor de lignina é de 13,5% na vegetação plena, 19,7% na frutificação e 22,9% na dormência. Desenvolve-se bem em áreas semi-úmidas com precipitação entre 600 e 1000 mm e em

áreas secas com temperatura de 20 a 28 °C (RIBASKI *et al.*, 2003). Predomina nos LUVISSOLOS CRÔMICO órticos, LATOSSOLOS, ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS HÁPLICOS (ARAÚJO FILHO, 2013).

É uma planta fixadora de nitrogênio atmosférico. O sistema radicular é adaptado às condições ambientais limitantes. Apresenta grande quantidade de acúleos nos ramos jovens (RIBASKI *et al.*, 2003). A espécie pode ser utilizada na produção de forragem, madeira para estaca e lenha, coleta apícola de néctar e polén e para o uso medicinal (ARAÚJO FILHO, 2013). Quando verdes, as folhas do sabiá participam com mais de 40% na composição botânica na dieta dos ruminantes, mas quando estão secas o consumo é inexistente (ARAÚJO FILHO, 2013). É recomendado para consórcios com culturas anuais em sistemas agroflorestais. De acordo com Maia (2004) a *Mimosa caesalpiniaefolia* é usada para enriquecer capoeiras, no qual suas flores melíferas são usadas pelas abelhas para produzir um mel de qualidade.

Figura 4 – Exemplar de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) em LUVISSOLO no sistema agroflorestal (SAF) do semiárido cearense.

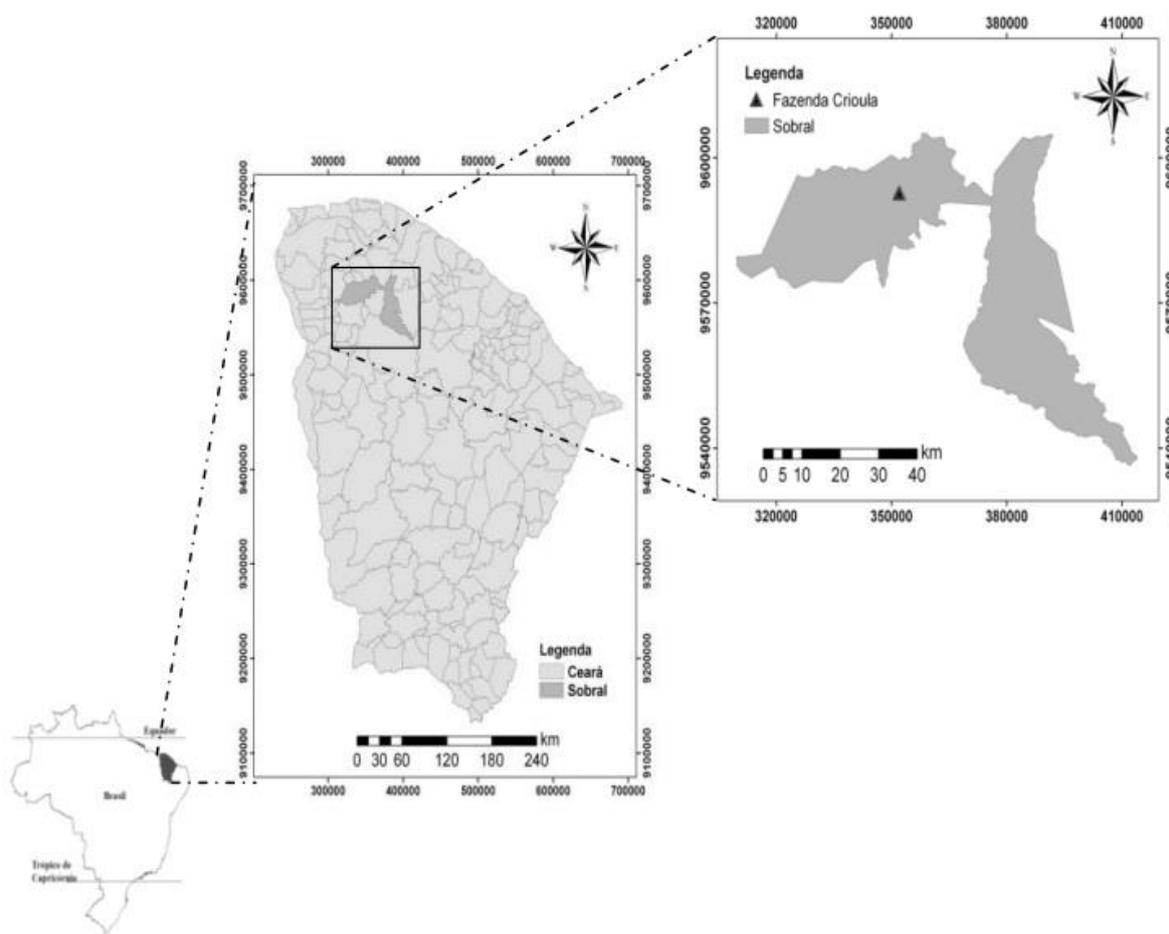


3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área

O trabalho foi conduzido em sistema agrosilvipastoril do Centro de Convivência com o Semiárido, pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, localizado no município de Sobral – CE. O Centro de Convivência está localizado na região semiárida cearense, a 3° 41'S e 40° 20'W, com altitude de 70 m (Figura 1). O sistema agrosilvipastoril foi implantado em 1997 e as amostras para realização do presente estudo foram coletadas em março de 2016.

Figura 51- Localização da área de estudo pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos no município de Sobral-CE.



Fonte: Sacramento (2012).

A precipitação média anual da região é de 798 mm e a temperatura média anual é de 30 °C (MAIA *et al.*, 2006). Na área há manchas de dois tipos de Luvisolos:

LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico e LUVISSOLO HIPOCRÔMICO Órtico típico (AGUIAR *et al.*, 2006), segundo classificação de Santos *et al.* (2013).

3.2 Descrição dos tratamentos, coletas e análises

O estudo foi realizado a partir de um experimento em uma área com o sistema agrossilvipastoril. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais foram estudados quatro componentes arbóreos: A – Catingueira (*Poincianera pyramidalis*); B – Pau Branco (*Auxemma oncocalix*); C – Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*); D – Gliricídia (*Gliricidia sepium*). Nas subparcelas foram estudados dois locais de amostragem: A – dentro da projeção da copa; B – fora da projeção da copa. Os componentes arbóreos foram definidos aleatoriamente na área de estudo, conforme apresentado na Figura 6. O estudo foi realizado com quatro repetições, com amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm para cada tratamento, totalizando 32 amostras para análises de raízes e de solo. Essa profundidade foi escolhida devido ao fato do solo ser pouco profundo.

Figura 6 - Localização dos componentes arbóreo-arbustivos (C - *Poincianera pyramidalis*; PB - *Auxemma oncocalix*; S - *Mimosa caesalpiniaefolia*; G - *Gliricidia sepium*) no sistema agroflorestal (SAF) pertencente à EMBRAPA Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE.



Fonte: O próprio autor.

Para coleta das amostras de solo e das raízes foi utilizada uma sonda graduada a cada 10 cm, a qual possui o diâmetro interno de 4,5 cm.(Figura 7).

Figura 7 - Coleta do solo e das raízes com sonda no sistema agroflorestal (SAF) pertencente à EMBRAPA Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE.



Fonte: O próprio autor.

Foram coletadas 10 amostras simples para formar uma amostra representativa de cada local de amostragem. A caracterização das amostras de solo da área de estudo está apresentada na Tabela 4.

Tabela 1 - Caracterização química do solo de sistema agroflorestal (SAF) no semiárido cearense, município de Sobral-CE.

	pH	Ca	Mg	K	Na	H+Al	SB	CTC	V%	C	N	P
0-10 cm	água	----- cmol _c dm ³ -----								---- g kg ⁻¹ ---	mg kg ⁻¹	
	6,6	3,4	1,3	0,13	0,03	1,5	4,9	6,4	76,7	9,4	0,9	17,0

Fonte: O próprio autor.

3.3 Análises das raízes

Análise da massa seca

As amostras de solo contendo as raízes foram coletadas, armazenadas em sacos plásticos previamente identificados e levadas para o laboratório. As raízes foram separadas do solo com o auxílio de peneiras e pinças e armazenadas em sacos plásticos previamente identificados. Posteriormente as raízes foram lavadas com água corrente e colocadas em estufa a 65° C até peso constante (Figura 8). A massa das raízes foi expressa por volume de solo coletado pela sonda.

Figura 8 – Raízes finas lavadas e secas de componentes arbóreos-arbustivos de um sistema agroflorestal (SAF), no município de Sobral-CE.



Fonte: O próprio autor.

Análises químicas das raízes

Foi realizada a análise de carbono orgânico descrita em Yeomans e Bremner (1988). A extração foi realizada com dicromato de potássio e ácido sulfúrico no bloco digestor. A quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal.

O nitrogênio foi extraído pelo método Kjeldahl (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Para digestão do nitrogênio (N) foi utilizada solução digestora composta por ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, sulfato de cobre (CuSO₄), sulfato de potássio (K₂SO₄) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂). No processo da titulação foi utilizado ácido bórico (H₃BO₃) e hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N.

A análise de lignina foi feita por meio do método descrito por Susuki *et al.* (2009). Para extração da lignina foi utilizado ácido clorídrico e ácido tioglicólico, enquanto para sua quantificação foi utilizado o espectrofotômetro de absorção de luz.

3.5 Análises químicas do solo

O solo coletado foi seco ao ar e passado em peneira com abertura da malha de 2 mm. A análise de lignina foi realizada a partir de adaptação da metodologia descrita por Susuki *et al.* (2009). O ajuste da análise foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal que pertence ao departamento de Bioquímica da Universidade Federal do Ceará. O peso da amostra foi ajustado de acordo com a quantidade de carbono orgânico adotado por Goñi e Montgomery (2000). Foi utilizado ácido clorídrico e ácido tioglicólico para extração da lignina. A determinação foi realizada a partir de espectrofotômetro de absorção de luz.

Os métodos para determinação dos atributos químicos do solo para fins de avaliação da fertilidade foram de acordo com Donagema *et al.* (2011). Foram feitas as seguintes determinações: pH_(H₂O), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), micronutrientes (Mn – manganês; Zn – zinco; Fe – ferro) e carbono orgânico total (COT).

O pH em água (1:2,5) foi medido por um pHmetro. Teores de Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl a 1 mol L⁻¹ e determinados por absorção atômica; o Al foi extraído com KCl a 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹; o P foi extraído com Mehlich 1 e determinado em fotocolorímetro; Na e K foram extraídos com uma solução

de acetato de amônio e determinados em um fotômetro de chama; o COT foi extraído por meio da oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado na presença de sulfato ferroso amoniacal; os micronutrientes (Mn – manganês; Zn – zinco; Fe – ferro) foram extraídos com Mehlich 1 e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.6 Análises estatísticas

Todos os dados analisados apresentaram distribuição normal. Análise de variância foi realizada com o procedimento ANOVA. As médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Foi utilizado o software ASSISTAT para realizar as análises estatísticas (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca de raízes

Ocorreu interação significativa entre os fatores de tratamento espécies arbóreas e local de coleta. A espécie *Auxemma oncococalix* resultou na maior média (0,13 g cm⁻³) de matéria seca dentro da projeção da copa, enquanto que a *Gliricidia sepium* resultou na maior média (0,08 g cm⁻³) fora da projeção da copa (Tabela 2). As espécies *Auxemma oncococalix*, *Poincianera pyramidalis* e *Mimosa caesalpiniaefolia* resultaram em maiores médias (0,13 g cm⁻³; 0,09 g cm⁻³ e 0,07 g cm⁻³, respectivamente) dentro da projeção da copa, enquanto que as espécies *Poincianera pyramidalis* e *Gliricidia sepium* apresentaram maiores médias de massa seca de raízes (0,06 e 0,08 g cm⁻³, respectivamente) fora da projeção da copa (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da ANOVA e interação dos valores de massa seca das raízes finas dos componentes arbóreo-arbustivas de sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE.

Tratamentos	MS (g cm ⁻³)	
	F crítico	
Componentes arbóreos	3,10 ^{ns}	
Área de projeção	13,42**	
Interação AxB	13,91**	
CV1	32,46 %	
CV2	30,66%	

Tratamentos	DC	FC
	g cm ⁻³	
<i>Poincianera pyramidalis</i>	0,09 abA	0,06 abA
<i>Auxemma oncococalix</i>	0,13 aA	0,04 abB
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	0,07 bcA	0,03 bB
<i>Gliricidia sepium</i>	0,03 cB	0,08 aA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** e ns: Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV: Coeficiente de variação; MS: Massa seca; DC: dentro da copa; FC: fora da copa.

As maiores médias de massa seca de raiz dentro da projeção da copa estão associadas às características das espécies e ao tipo de sistema radicular. No SAF estudado, as árvores do *Auxemma oncococalix* resultaram em maior massa seca de raiz dentro da projeção da copa porque, segundo Araújo Filho (2012), esse componente arbóreo possui

sistema radicular lateral. Essas características das raízes são inerentes às espécies, mas podem estar associadas à aspectos do meio, como tipo e profundidade do solo. Para Lopes *et al.* (2013), o desenvolvimento do sistema radicular é complexo, pois é controlado por características específicas da planta e do ambiente. De acordo com Gonçalves e Mello (2005), o genótipo da planta é o principal fator responsável pela distribuição do sistema radicular no solo; no entanto, pode sofrer influências de outros fatores ligados ao solo e ao ambiente em que a espécie se desenvolve. Albuquerque *et al.* (2015) encontraram concentração de raízes sob a base do tronco maior do que entre as árvores, nas espécies *Poiceanella pyramidalis*, *Mimosa oftalmocentra*, *Croton blanchetianus*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *C. blanchetianus* e *Piptadenia moniliformis*, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho para as espécies *Auxemma oncocalix* e *Mimosa caesalpiniaefolia*.

4.2 Análise química das raízes

Ocorreu diferença significativa para o fator de tratamento “Área de projeção” para os teores de N e C no tecido vegetal das raízes das espécies avaliadas. Não ocorreu diferença significativa para relação C/N. Os dois elementos apresentaram maiores teores (9,58 g kg⁻¹ de N e 95,15 g kg⁻¹ de C) nas raízes coletadas dentro da área de projeção da copa (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores de nitrogênio (N), carbono (C) e relação C/N nas raízes dos componentes arbóreo-arbustivas estudados pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE.

Tratamentos	N (g kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	C/N
	F crítico		
Componentes arbóreos	1,38 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Área de projeção	11,23 ^{**}	23,69 ^{**}	0,52 ^{ns}
Interação AxB	0,77 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,98 ^{ns}
CV1	14,8%	9,1%	17,7%
CV2	11,4%	7,5%	10,2%
Tratamentos	N (g kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	C/N
<i>Poincianera</i>	8,53 a	88,65 a	10,64 a
<i>pyramidalis</i>			
<i>Auxemma oncochalix</i>	9,66 a	91,27 a	9,53 a
<i>Mimosa</i>	8,51 a	91,28 a	10,88 a
<i>caesalpiniaefolia</i>			
<i>Gliricidia sepium</i>	9,18 a	86,27 a	9,42 a
Dentro da Copa	9,58 a	95,15 a	9,99 a
Fora da Copa	8,36 b	83,58 b	10,25 a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** e ns: Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente CV1: Coeficiente de variação para os componentes arbóreos; CV2: Coeficiente de variação para a área de variação. DC: dentro da copa; FC: fora da copa.

O resultado com os maiores teores de N nas raízes coletadas dentro da área de projeção da copa está associado ao tipo de espécie dos componentes arbóreos escolhidos para esta pesquisa, pois todos são leguminosas. As leguminosas possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico em seus tecidos, o que recebe a denominação de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Isso ocorre por meio de associação simbiótica da planta com uma bactéria do gênero *Rhizobium* (LISBÔA e PAUSE, 2010). Ao analisarem raízes de espécie de leguminosa e forrageira, Scheffer-Basso *et al.* (2001) observaram maiores teores de N nas raízes da planta leguminosa. O mesmo resultado foi obtido por Procópio *et al.* (2004) que, ao trabalharem com plantas leguminosas e daninhas, obtiveram maiores valores de N nas leguminosas.

O fato de ter sido encontrado maior teor de N nas raízes das leguminosas avaliadas neste estudo, é positivo por indicar que essas espécies têm potencial de enriquecer o solo com

esse nutriente. Lisbôa e Pause (2010) afirmam que a leguminosa pode ser utilizada como adubo orgânico, devido a fixação do nitrogênio realizada pelo *Rhizobium*. O N atmosférico é fixado para a assimilação ou estoque pela planta (FREITAS *et al.*, 2015). De acordo com Andrews *et al.* (2011) as leguminosas fixadoras em regiões áridas e semiáridas normalmente conseguem mais que a metade do seu nitrogênio por meio da FBN. De acordo com Freitas *et al.* (2010) na Caatinga, quando está ocorrendo a regeneração da vegetação nativa, no qual ocorre o predomínio de espécies de fixação, a fixação de N pode chegar a $130 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O maior teor de C nas raízes dentro da área de projeção da copa pode estar associado ao tamanho, idade dos componentes do SAF e pelo fato desses componentes serem espécies lenhosas. De acordo com Dias Filho (2006), as plantas que apresentam a capacidade de acumular biomassa no tecido lenhoso e que possuem maior longevidade são capazes de sequestrar maiores quantidades de carbono. Zelarayán *et al.* (2015) observaram que árvores de grande porte em florestas ripárias são as principais armazenadoras de grandes quantidades de carbono. Vieira *et al.* (2009) analisaram carbono em espécies arbóreas do Cerrado e da Caatinga e obtiveram valores médios de carbono nas raízes das plantas de 40,63% e 44,08% nos dois biomas, respectivamente.

Observa-se que ocorreu interação significativa entre tratamentos na análise da lignina na raiz (Tabela 4). O *Auxemma oncocalix* resultou no maior teor de lignina ($231,50 \text{ g kg}^{-1}$) dentro copa. Apenas a *Poincianera pyramidalis* e o *Auxemma oncocalix* resultaram em maiores médias ($146,76 \text{ g kg}^{-1}$ e $231,50 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) dentro da área de projeção da copa quando feita comparação da área de coleta. Os maiores valores de lignina nas duas espécies podem ser explicados pela idade das plantas. As espécies *Poincianera pyramidalis* e *Auxemma oncocalix* estão há mais tempo no SAF. Silva *et al.* (2005) e Protásio *et al.* (2014), ao trabalharem com *Eucalyptus* de diferentes anos, observaram que as árvores com a maior idade possuíam maior teor de lignina. No entanto, esses resultados divergem da literatura em que assume-se que as espécies mais jovens possuem maior quantidade de lignina (KASMANI *et al.*, 2011). As espécies mais jovens possuem maior quantidade de madeira juvenil, a qual ira possui maior quantidade de lignina (TRUGILHO *et al.*, 1996). De acordo com Kasmani *et al.* (2011) esse resultado pode estar ligado à genética das espécies vegetais.

Tabela 4 – Valores médios, teste F e coeficiente de variação para teor de lignina nas raízes em estrato arbóreo-arbustivas em sistema agroflorestal em Sobral-CE.

Tratamentos	Lignina g kg ⁻¹	
	DC	FC
Componentes arbóreos		
Área de projeção		
Interação AxB		
CV1		
CV2		
Tratamentos	DC	FC
<i>Poincianera pyramidalis</i>	146,76 bA	103,56 aB
<i>Auxemma oncococalix</i>	231,50 aA	117,21 aB
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	105,95 cA	103,57 aA
<i>Gliricidia sepium</i>	104,21 cA	109,70 aA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** e ns: Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV1: Coeficiente de variação para os componentes arbóreos; CV2: Coeficiente de variação para a área de variação. DC: dentro da copa; FC: fora da copa.

Ocorreu interação significativa entre os tratamentos na análise de lignina/nitrogênio. A espécie *Auxemma oncococalix* resultou na maior média (23,74 g kg⁻¹) entre as espécies e dentro da área de cobertura da copa (Tabela 5). Maiores valores da relação lignina/nitrogênio vão influenciar na velocidade de decomposição dos vegetais. Dentre as espécies estudadas, a *Gliricidia sepium* e a *Mimosa caesalpiniaefolia* apresentam menores valores da relação lignina/nitrogênio, conseqüentemente a velocidade de decomposição do material vegetal dessas espécies vai ser maior. Segundo Abreu (2010) a relação lignina/nitrogênio influencia diretamente a taxa de decomposição do material vegetal. Aita e Giacomini (2003) ao trabalharem com plantas de cobertura, observaram que a velocidade de decomposição foi inversamente proporcional a relação lignina/nitrogênio.

Tabela 5 – Resumo da ANOVA e valores da relação Lignina/Nitrogênio nas raízes dos componentes arbóreo-arbustivas estudados, pertencentes pertencente à Embrapa Caprinos e Ovinos, no município de Sobral-CE.

Tratamentos	Lignina/Nitrogênio	
	F crítico	
Componentes arbóreos	12,34 **	
Área de projeção	9,53**	
Interação AxB	18,97**	
CV1	16,08%	
CV2	14,74%	

Tratamentos	DC	FC
<i>Poincianera pyramidalis</i>	16,26 bA	13,09 aA
<i>Auxemma onco calix</i>	23,74 aA	12,58 aB
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	11,25 cA	13,93 aA
<i>Gliricidia sepium</i>	10,53 cA	12,96 aA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** e ns: Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV1: Coeficiente de variação para os componentes arbóreos; CV2: Coeficiente de variação para a área de variação. DC: dentro da copa; FC: fora da copa.

4.3 Análise química do solo

Não houve diferenças significativas para teores de potássio (K), sódio (Na), manganês (Mn), zinco (Zn) e valores de pH (Tabela 6). Ocorreu interação significativa entre os fatores de tratamento para os teores de C e N no solo.

De acordo com Fernandes (1993) os teores de P no solo quando associados *Poincianera pyramidalis*, *Gliricidia sepium* e *Auxemma onco calix* (24,47, 21,77 e 20,53 mg kg⁻¹ respectivamente) são considerados altos (Tabela 6). O menor teor de P no solo, (12,32 mg kg⁻¹) foi encontrado associado à espécie *Mimosa caesalpiniaefolia*. É provável que isso tenha ocorrido em virtude de uma maior absorção do nutriente por essa espécie. A maior absorção de P pela *Mimosa caesalpiniaefolia* é explicada pela maior eficiência da espécie em absorver P do solo, mesmo mediante baixos teores do nutriente. Fontes *et al.* (2013) observaram em seu trabalho que a *Mimosa caesalpiniaefolia* apresentou maior eficiência na utilização de fósforo em solos com baixo teor deste mesmo elemento.

De acordo com Santos *et al.* (2008) vários fatores influenciam a necessidade de fósforo em uma planta. Dentre esses fatores estão: tamanho e conteúdo de P das sementes,

taxa de crescimento e estágio de desenvolvimento da planta, nível de desenvolvimento do sistema radicular e dependência micorrízica.

A dependência micorrízica pode melhorar a capacidade das plantas em absorver P do solo. Ao analisar as espécies *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Leucaena leucocephala* L. Silva *et al.* (2007) observaram que ocorreu maior colonização micorrízica na área que continha a espécie *Mimosa caesalpiniaefolia*. Já Tavares (2007) e Pouyu-Rojas *et al.* (2006) observaram melhor absorção de P em espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* micorrizadas. Assim, observa-se que há uma interação entre a espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* e micorrizas, favorecendo a melhor absorção de P na área. Uma vez que esse P é absorvido pelas plantas, pode-se constatar menor teor do nutriente no solo. Se as plantas permanecerem na área, na medida em que as folhas, frutos, galhos caírem sobre o solo, na medida em que as raízes da planta tornam-se senescentes e entrarem em decomposição, haverá reposição desse P no solo no processo de ciclagem.

Os valores de cálcio e magnésio variaram entre 5,31 e 3,37 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 1,70 e 0,69 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente (Tabela 6). A espécie *Auxemma oncocalix* resultou em maior média para o cálcio, enquanto que a menor média desse nutriente foi observada associada à *Gliricidia sepium*. Já para os teores de magnésio, as espécies *Auxemma oncocalix* e *Mimosa caesalpiniaefolia* resultaram nas maiores médias e a menor média ocorreu associada à *Gliricidia sepium*. Os teores de Ca encontrados no solo são considerados altos por Fernandes (1993), enquanto que os teores de Mg encontrados no solo variaram entre médio e alto.

A capacidade de troca catiônica (CTC) e a soma de bases (SB) diferiram em resposta aos tratamentos, sendo que as espécies que estiveram associadas às maiores médias desses atributos foram: *Poincianera pyramidalis* (6,44 e 8,16 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para CTC e SB, respectivamente), *Auxemma oncocalix* (7,08 e 9,16 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para CTC e SB, respectivamente) e *Mimosa caesalpiniaefolia* (6,70 e 8,37 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para CTC e SB, respectivamente). Os valores associados a *Poincianera pyramidalis*, a *Auxemma oncocalix* e a *Mimosa caesalpiniaefolia* podem estar associados a maiores valores de matéria orgânica. De acordo com Ribeiro *et al.* (1999), os teores para CTC enquadram-se como médios, enquanto que os teores para SB são considerados como bom e muito bom.

Tabela 6 – Teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), soma de bases (SB), CTC, pH, acidez potencial (H+Al) e saturação de bases no solo sob as espécies em um sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa no município de Sobral-CE.

Tratamentos	<i>Poincianera pyramidalis</i>	<i>Auxemma oncocalix</i>	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	CV %
pH (água)	6,64 a	6,35 a	6,60 a	6,53 a	4,07
P (mg kg ⁻¹)	24,47 a	20,53 ab	12,32 b	21,77 a	29,08
K (cmol _c dm ³)	0,16 a	0,18 a	0,19 a	0,08 a	48,44
Na (cmol _c dm ³)	0,02 a	0,03 a	0,03 a	0,03 a	17,90
Ca (cmol _c dm ³)	4,67 ab	5,31 a	4,97 ab	3,37 b	27,04
Mg (cmol _c dm ³)	1,20 ab	1,70 a	1,65 a	0,69 b	29,53
H+Al (cmol _c dm ³)	1,29 ab	1,42 a	1,29 ab	1,25 b	8,36
SB (cmol _c dm ³)	6,44 a	7,08 a	6,70 a	4,26 b	16,42
CTC (cmol _c dm ³)	8,16 a	9,16 a	8,37 a	5,83 b	13,85
V (%)	79,11 a	77,28 ab	79,88 a	72,71 b	5,00
Fe (cmol _c dm ³)	0,35 b	0,41 b	0,34 b	0,56 a	16,02
Mn (cmol _c dm ³)	0,45 a	0,39 a	0,35 a	0,36 a	16,82
Zn (cmol _c dm ³)	0,031 a	0,040 a	0,042 a	0,042 a	31,57

Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A espécie *Auxemma oncocalix* resultou na maior média (1,42 cmol_c dm⁻³) de acidez potencial (H + Al) (Tabela 6). Na saturação por bases (V%), as espécies *Poincianera pyramidalis* e *Mimosa caesalpiniaefolia* resultaram nas maiores médias (79,11% e 79,88%, respectivamente). Os valores de H + Al foram considerados baixos, enquanto V% apresentou valores classificados como bom e muito bom (Ribeiro *et al.*, 1999).

As menores médias para Ca, Mg, CTC, SB e V% ocorreram associadas à *Gliricidia sepium*. Esses resultados podem estar associados à maior velocidade de decomposição dos resíduos vegetais dessa espécie, de modo que os nutrientes podem estar sendo reabsorvidos pela planta e ao manejo de poda da *Gliricidia sepium*. Essa espécie é utilizada como adubo verde e como fonte de comida para os animais, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes será comprometida, resultando em menor disponibilidade de nutrientes no solo sob influência deste componente arbóreo/arbustivo em relação aos outros componentes.

Paula *et al.* (2015), ao trabalharem com as espécies *Acacia angustissima*, *Pueraria phaseoloide* e *Gliricidia sepium*, observaram que os resíduos da *Gliricidia sepium* apresentaram maior rapidez na decomposição e liberação de nutrientes nas duas estações do ano. Lehmann *et al.* (1995), ao avaliarem a decomposição e liberação de nutrientes de três árvores leguminosas (*Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus* e *Senna siamea*) em sistema agroflorestal na África, também encontraram resultados semelhantes nos quais a *Gliricidia sepium* apresentou maior velocidade de decomposição e liberação de nutrientes. Segundo Apolinário *et al.* (2016), a *Gliricidia sepium* possui maior taxa de decomposição do que a espécie *Mimosa caesalpiniaefolia*.

Para os valores dos atributos químicos do solo entre as áreas de coleta, K, Na, Ca, Mn, Fe e CTC não diferiram entre tratamentos (Tabela 7). O teor de fósforo (P) e o valor da acidez potencial (H+Al) foram maiores (23,78 mg kg⁻¹ e 1,41 cmol_c dm⁻³ respectivamente) dentro da copa (DC) das árvores. O teor de magnésio (Mg), os valores de soma de bases (SB), pH e saturação por bases (V%) foram maiores (1,52 cmol_c dm³, 6,41 cmol_c dm³, 6,71 e 80,72 cmol_c dm³, respectivamente) fora da copa (FC) das árvores (Tabela 7).

Tabela 7 –Teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), soma de bases (SB), CTC, pH, acidez potencial (H+Al) e saturação de bases no solo da área experimental, dentro da projeção da copa (DC) e fora da projeção da copa (FC) de sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa no município de Sobral-CE

Tratamentos	DC	FC	CV%
pH (água)	6,36 b	6,71 a	3,62
P (mg kg ⁻¹)	23,78 a	15,76 b	35,76
K (cmol _c dm ³)	0,16 a	0,15 a	31,87
Na (cmol _c dm ³)	0,03 a	0,03 a	12,46
Ca (cmol _c dm ³)	4,60 a	4,57 a	15,30
Mg (cmol _c dm ³)	1,10 b	1,52 a	26,92
H+Al (cmol _c dm ³)	1,41 a	1,21 b	9,29
SB (cmol _c dm ³)	5,83 b	6,41 a	9,25
CTC (cmol _c dm ³)	7,86 a	7,90 a	7,77
V%	73,77 b	80,72 a	5,14
Fe (cmol _c dm ³)	0,42 a	0,41 a	13,95
Mn (cmol _c dm ³)	0,41 a	0,37 a	13,32
Zn (cmol _c dm ³)	0,03 b	0,04 a	27,80

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O resultado encontrado para o teor de P dentro da projeção da copa pode ser explicado pelo fato de que, pelo menos para duas espécies houve maior biomassa de raízes nessa posição. As raízes das espécies arbóreas são mais profundas do que a das espécies herbáceas, consequentemente as raízes das arbóreas absorvem os nutrientes que estão em maior profundidade. Ao ser absorvido, o nutriente é armazenado na biomassa e posteriormente depositado na primeira camada do solo por meio da deposição da liteira e decomposição das raízes. Para Silva *et al.* (2013) o consórcio com leguminosas pode promover a retirada de nutrientes de maiores profundidades para as mais superficiais. As

raízes das árvores retiram os nutrientes de camadas mais profundas, armazenam na biomassa e posteriormente os nutrientes voltam ao solo através da deposição do material vegetal (VOGEL *et al.*, 2012).

Os teores obtidos para o Mg ($1,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Zn ($0,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), SB (6,41), V% (80,72) e pH (6,71) foram maiores no tratamento FC (Tabela 7). Para H+Al o tratamento DC apresentou a maior média. O resultado obtido para o tratamento DC indica que os componentes arbóreos absorvem mais bases trocáveis na área de maior influência de suas raízes. Ao ocorrer maior absorção de bases dentro da projeção da copa, a acidez aumenta por meio da exsudação de H^+ . De acordo com Dakora e Phillips (2002), quanto maior a absorção de cátions pelas raízes, maior será a extrusão de H^+ e consequentemente maior acidez. A mineralização da matéria orgânica e a liberação de exsudados pelas raízes das árvores também contribuem com o aumento da acidez do solo (BARRETO *et al.*, 2006), assim ocasionando um menor pH na área. Os mesmos autores, Barreto *et al.* (2006), obtiveram resultados semelhantes para pH e H + Al.

Para os teores de C no solo houve interação entre tratamentos (Tabela 8). A *Poincianera pyramidalis* resultou no maior teor de carbono no solo ($19,17 \text{ g kg}^{-1}$) em relação às outras espécies dentro da projeção da copa. O tratamento com a espécie *Gliricidia sepium* resultou em maior teor de carbono ($12,49 \text{ g kg}^{-1}$) fora da copa. O menor valor de C associado à *Gliricidia sepium* pode estar ligado à maior velocidade de degradação da biomassa dessa espécie e ao manejo da poda, conforme mencionado na explicação para CTC e SB entre as espécies. O maior teor de C associado à *Poincianera pyramidalis* pode ser devido à maior quantidade de biomassa produzida por essa espécie em relação às demais. Ao ocorrer a decomposição desse material, o carbono retido na massa vegetal é liberado para o solo. O carbono é o principal componente da matéria orgânica do solo (MONTEIRO, 2013).

Para Luciano *et al.* (2010) a qualidade física do solo está relacionada com o teor de carbono. Dentre as espécies estudadas a *Poincianera pyramidalis* resultou no maior teor de carbono no solo, consequentemente esse solo tem melhor qualidade física em relação ao solo sob as outras espécies. Ao trabalhar com a espécie *Poincianera pyramidalis* Nascimento (2016) observou que o solo sob essa espécie possui melhor estruturação, menor resistência à penetração, maior permeabilidade intrínseca do solo ao ar e maior área total do solo, com predomínio de poros complexos e grandes.

Segundo Torres *et al.* (2014), os sistemas agroflorestais são importantes para o armazenamento de carbono e a capacidade para armazenar varia de acordo com a quantidade de espécies de árvores e/ou arbustos. De acordo com Gatto *et al.* (2010), as espécies florestais que possuem maiores quantidades de raízes podem reservar altas quantidades de carbono no solo. Espécies arbóreas influenciam diretamente no armazenamento de carbono em sistemas agroflorestais (ALBRECHT; KANDJI, 2003).

Tabela 8 - Resumo da ANOVA e teor de carbono e nitrogênio no solo em função das espécies vegetais e da área de coleta, em sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa, localizada no semiárido cearense, Sobral-CE.

Tratamentos	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)
	F crítico	
Componentes arbóreos	1,67 ^{ns}	5,99**
Área de projeção	5,43*	14,60**
Interação AxB	41,54**	9,95**
CV1	27,9%	17,3
CV2	10,24%	29,8
Tratamentos	DC	FC
	C g kg ⁻¹	
<i>Poincianera pyramidalis</i>	19,17 aA	9,74 aB
<i>Auxemma Oncocalix</i>	11,91 bA	12,59 aA
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	11,42 bA	12,37 aA
<i>Gliricidia sepium</i>	8,85 bB	12,49 aA
Tratamentos	N g kg ⁻¹	
	DC	FC
<i>Poincianera pyramidalis</i>	1,40 aA	0,37 bB
<i>Auxemma oncocalix</i>	1,22 aA	0,46 bB
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	0,72 bA	0,92 aA
<i>Gliricidia sepium</i>	1,07 abA	1,17 aA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de nitrogênio (N), observa-se na Tabela 8 que a *Poincianera pyramidalis* e o *Auxemma oncocalix* resultaram em maiores médias (1,40 g kg⁻¹ e 1,22 g kg⁻¹, respectivamente) dentro da projeção da copa, enquanto a *Mimosa caesalpiniaefolia* e a *Gliricidia sepium* resultaram em maiores médias (0,92 g kg⁻¹ e 1,17 g kg⁻¹) fora da projeção da copa.

Os maiores valores de N associados à *Poincianera pyramidalis* e ao *Auxemma Oncocalix* podem ser explicados pela maior biomassa produzida por essas espécies, pois são espécies com o porte e a copa maiores que a da *Gliricidia sepium* e do *Mimosa caesalpiniaefolia*. Já os maiores valores dentro da área de projeção da copa estão associados ao fato de haver maior biomassa de raízes, principalmente para a espécie *Auxemma oncocalix*. O menor valor de N associado à *Gliricidia sepium* pode ser explicado pelas mesmas razões do valor de C. De acordo com Araújo Filho (2013), a *Poincianera pyramidalis* possui relevância na circulação de nutrientes em um SAF, pois possui alto teor de nitrogênio em sua parte aérea e é uma leguminosa simbiote. Segundo Santos *et al.* (2007), as leguminosas tropicais possuem a capacidade de formar nódulos em suas raízes, nos quais são capazes de promover o aumento na atividade da fixação biológica do nitrogênio. A associação de algumas espécies de leguminosas com bactérias que fixam o nitrogênio atmosférico promove o aporte de maiores quantidades de N nos sistemas de produção, podendo aumentar a produtividade das culturas (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Freitas *et al.* (2015) afirmam que a adição de nitrogênio por leguminosas arbóreas em sistemas agroflorestais é uma possibilidade à aplicação de fertilizantes.

Houve interação para os teores de lignina no solo (Tabela 9). A espécie *Auxemma oncocalix* apresentou a maior média (14,33 g kg⁻¹ de Lignina) dentro da copa (Tabela 8). As maiores médias de lignina fora da copa foram encontradas associadas às espécies *Auxemma oncocalix*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Gliricidia sepium* (12,95 g kg⁻¹ de Lignina, 12,48 g kg⁻¹ de Lignina e 14,46 g kg⁻¹ de Lignina, respectivamente).

Dentro da copa os tratamentos que resultaram as maiores médias de lignina foram similares ao encontrado para teor de lignina na matéria seca das raízes. Isso indica que com a decomposição das raízes, a lignina presente nas raízes está acumulando no solo até sua total degradação. Para Thevenot *et al.* (2010) a degradação da lignina está associada com a origem do material vegetal, o uso do solo, o clima e as características do solo.

Tabela 9 – Resumo da ANOVA e teor de lignina no solo em função das espécies vegetais e da área de coleta em sistema agroflorestal (SAF) pertencente à Embrapa, no município de Sobral-CE.

Tratamentos	Lignina (g kg ⁻¹)	
	DC	FC
Componentes arbóreos	13,15 abA	6.86 bB
Área de projeção	14,33 aA	12,95 aA
Interação AxB	10,18 bB	12,48 aA
CV1	9,83 bB	14,46 aA
CV2		

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na figura 9 observa-se que somente para a espécie *Poincianera pyramidalis* constata-se correlação muito forte, r maior que 0,80, entre teores de lignina na matéria seca de raiz e teores de lignina no solo. A lignina presente na raiz da *Poincianera pyramidalis* influencia diretamente a lignina no solo sob essa espécie. Os maiores valores de “r” obtidos nas correlações feitas para *Poincianera pyramidalis* e *Auxemma oncocalix* estão relacionados com o maior teor de lignina presente nas raízes dessas espécies em relação à *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Gliricidia sepium*. Os valores de “r” encontrados nas correlações feitas para *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Gliricidia sepium* são praticamente nulos.

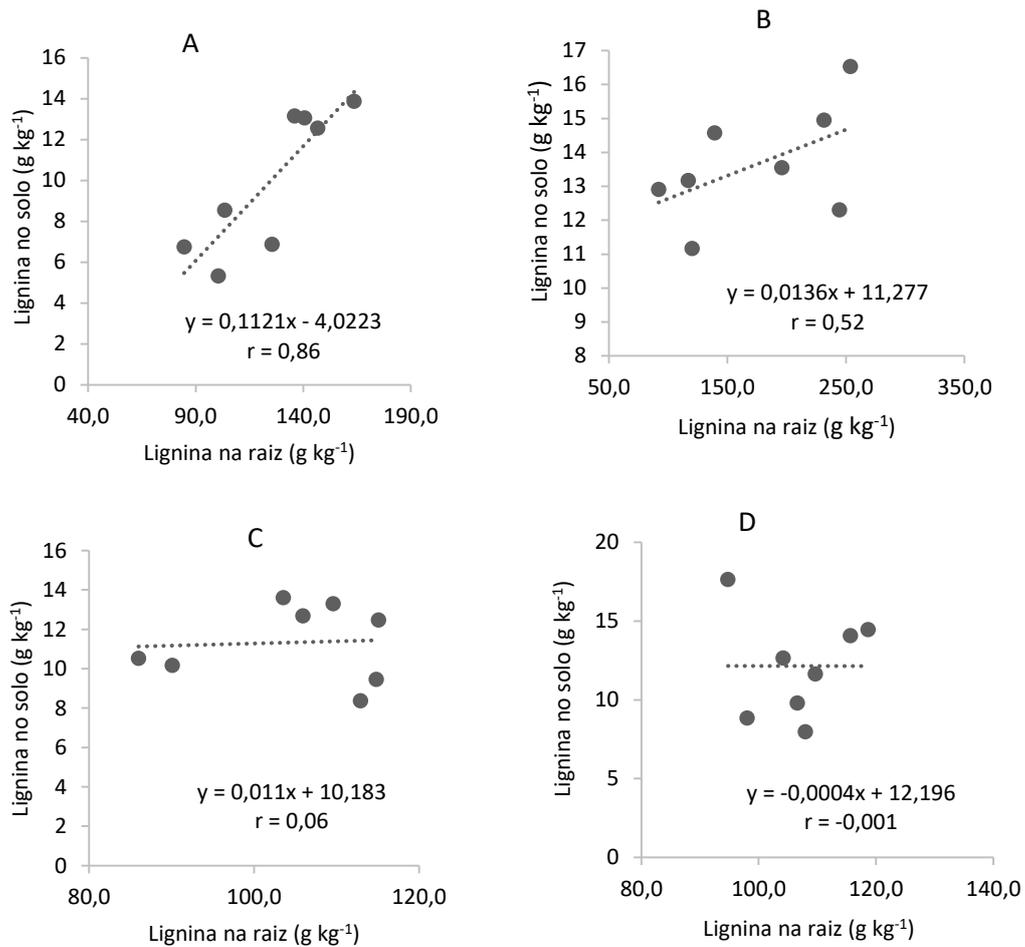


Figura 9 - Gráficos de correlação entre a lignina na raiz e a lignina no solo das espécies A - *Poincianera pyramidalis* (Catingueira), B - *Auxemma oncoocalix* (Pau Branco), C - *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sabiá) e D - *Gliricidia sepium* (Gliricídia).

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados dos atributos químicos analisados aceita-se a hipótese de que a quantidade e a composição das raízes finas de espécies arbórea-arbustivas em SAF no semiárido afetam a adição de matéria orgânica do solo dos pontos de vista quantitativo e qualitativo.

Por apresentar menor valor da relação lignina/nitrogênio, no qual consequentemente irá resultar maior velocidade de decomposição, a *Gliricidia sepium* é promissora para disponibilizar nutrientes em menor tempo, dentre as espécies estudadas.

Por apresentar menores teores dos atributos químicos e menores valores da relação lignina/nitrogênio dentre as espécies estudadas, *Gliricidia sepium* é a que contribui menos para melhoria do solo no SAF a longo prazo.

Dentre as espécies estudadas, a *Poincianera pyramidalis* e *Auxemma Oncocalix*, apresentam maiores valores de lignina/nitrogênio, resultando assim em melhoria a longo prazo associado a uma matéria orgânica do solo que demora mais para se decompor.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. M. S de. **Emissão e estoque de carbono no solo sob efeitos de borda e extração de madeira em áreas de floresta na Amazônia Central**. 2010. 57f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2010.
- AGUIAR, M. I. **Perdas de sedimentos, água e nutrientes por erosão hídrica em um Luvissole sob sistemas agroflorestais no semi-árido nordestino**. 2006. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza.
- AGUIAR, M. I. de; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. de; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. de Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p.270-278, 2006.
- AITA.C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.
- ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C.; ARAUJO, E. . Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Enviroments**. v 116, p 82-88, mai. 2015.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, p. 15–27. 2003.
- APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX, Jr.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; MELLO, A. C. L.; COELHO, D. L.; MUIR, J. P.; SAMPAIO, E. V. S. B. Decomposition of arboreal legume fraction in a Silvopastoral System. **Crop Science**, v. 56, p 1536 – 1563, 2016.
- ANDREWS, M., JAMES, E.K., SPRENT, J.I., BODDEY, R.M., GROSS, E., REIS JR, F B., 2011. Nitrogen fixation in legumes and actinorhizal plants in natural ecosystems: values obtained using ¹⁵N natural abundance. **Plant Ecology and Diversity**, v 4, p 131-140, jun./set. 2011.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; Olszewski, N. Jucksch, I. (2000) A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, v.24, p.867-874.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestral implantado para recuperação de área degradada em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARAÚJO FILHO, J. A de. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife, PE: Proejto Dom Helder Câmara, 2012. 200p.
- ARAÚJO FILHO, J.A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, n. 180, p. 44-45, 2002.

ARAÚJO FILHO, J.A., SOUSA, F.B., CARVALHO, F.C. Pastagens no Semi-Árido: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, Brasília, DF, **Anais... XXII Reunião da SBZ**, 1995, Brasília: SBZ, p.28-62, 1995.

BARRETO, C. A.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G dos. S.; ARAÚJO, Q. R de.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v.19, p.415-425, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Brasília, DF, 2005. 32 p.

BHAGWAT, S.; WILLIS, K.; BIRKS, H. & WHITTAKER, R. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 23, p. 261–267. 2008.

BREMAN, H.; KESSLER, J.J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **European Journal of Agronomy**, v.7, p. 25–33. 1997.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BUSILANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. (1993) **Adubação verde no Sul do Brasil**. Coordenação: COSTA, M.B.B. 2a ed, Rio de Janeiro: AS-PTA, 346p.

CAMPANHA, M. M.; NOGUEIRA, R. da S.; OLIVEIRA, T. S de. TEXEIRA, A. dos S.; ROMERO, R. E. **Teores e Estoques de Carbono no Solo de Sistemas Agroflorestais e Tradicionais no Semiárido Brasileiro – Sobral**. Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009. 13p. (Circular Técnica 42/ Embrapa Caprinos e Ovinos).

CARVALHO, A.M; DANTAS, R. A.; COELHO, M.C.; LIMA, W.M.; SOUZA, J.P.S.P.; FONSECA, O.P.; GUIMARÃES JÚNIOS, R. **Teores de hemicelulose, celulose e lignina em plantas de cobertura com potencial para o sistema plantio direto no cerrado**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 290. Embrapa Cerrado. Planaltina-DF. 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Pau-Branco-do-Sertão (Auxemma oncocalyx)**. Colombo. Embrapa Florestas, 2008. 6p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 153).

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: **Agroecologia: Princípios e Técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L de. (ed. téc.) 1a Ed. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

CARVALHO FILHO, O.M. de; DRUMOND, M.A.; LANGUIDEY, P.H. **Gliricidia sepium – leguminosa promissora para as regiões semi-áridas**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1997. 17 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 35).

CAVALCANTE, A. C. Rodrigues; JÚNIOR, E. V. Holanda; SOARES, J. P. Guimarães. **Produção orgânica de caprinos e ovinos**. Sobral: Embrapa Caprinos, 2007. 40 p. (Documentos / Embrapa Caprinos, 69).

CASTANHO, C. T. **Fatores determinantes no processo de decomposição em florestas do Estado de São Paulo**. 2005. 112f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005.

CASTRO, A. C.; JÚNIOR, J de. B. L.; SANTOS, N de. F. A dos. MONTEIRO, E. M. M.; AVIZ, M. A. B de.; GARCIA, A. R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, v.38, n.8, p.2395-2402, nov. 2008.

CHAVES, L. H. G.; KINJO, T. Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas, São Paulo, v. 11, n.3, p.257-261, 1987.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; CUNHA, T. J. F.; JÚNIOR, L. A. J.; ARAÚJO, J. L. P. A região semiárida brasileira. In: **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. VOLTOLINI, T.V. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Cap. 1, p. 21-48.

COSTA, J. R da.; MACÊDO, J. L. V de.; WANDELLI, E. V. **Recomendações para o planejamento agroflorestal participativo em pequenas propriedades agrícolas**. Manaus. Embrapa Amazônia Ocidental. 2009. 4p. (Comunicado técnico, 75/Embrapa Amazônia Ocidental).

DAKORA, F.D.; PHILLIPS, D.A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments. **Plant Soil**, v.245, p.35-47, 2002.

DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; RESENDE, A.S. de; MOREIRA, J.F.; POLIDORO, J.C.; CAMPELL, E.F.; FRANCO, A.A. Influência da projeção das copas de espécies de leguminosas arbóreas nas características químicas do solo. **Pasturas Tropicais**, v.28, p.8-17. 2006.

DIAS FILHO, M. B. **Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental 2006. 34 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 258).

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B de.; CALDERANO, S. B.; TEXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semi-árida do Nordeste brasileiro. In: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

DUARTE, E. M. G. **Árvores em sistemas agroflorestais: ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo**. 2011. 135f. Tese (doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

DUARTE, E. M. G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. 2007. 115f. Dissertação (mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

FARIAS, C. A. F.; RIOS, M. L.; ROCHA, A. A. Uso da terra e degradação ambiental na sub-bacia do Riacho do Quirino – Caculé, BA. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, p. 215-233, 2013.

FERNÁNDEZ, M.; GYENGE, J.; LICATA, J.; SCHLICHTER, T. S.; BOND, B. J. et al. Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. **Agroforestry Systems**, v. 74, p. 185-197, 2008.

FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

FONTES, A. G.; RODRIGUES, A. C. G.; RODRIGUES, E. F. G. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 09-18, jan./mar. 2013.

FIALHO, J. S. **Qualidade do solo e pedofauna em sistemas tradicionais e agroflorestais**. 2013. 84 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FLAIG, W. Effect of microorganisms in the transformation of lignin into humic substance. **Geochimica Cosmochimica Acta**, v. 28, p. 1523-1535, 1964.

FREITAS, A. D. S de.; SAMPAIO, E. V de. S.B.; SANTOS, C. E. de R. e S.; SILVA, A. F da.; SOUZA, R. J. C de. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 585-597. 2015.

GATTO, A.; BARROS, N. F de.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R da.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, R. M de. A. Estoque de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1069-1079. 2010.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1233-1253, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2005. p.221- 267.

GOÑI, M. A.; MONTGOMERY, S. Alkaline CuO oxidation with a microwave digestion system: lignin analyses of geochemical samples. **Analytical Chemistry**, v.72, p.3116-3121, 2000.

GORDON, W. S.; JACKSON, R. B. Nutrient concentration in fine roots. **Ecology**, v. 81, p. 275–280, 2000.

GYENGE, J. E.; FERNÁNDEZ, M. E.; SALDA, D.; SCHLICHTER, T. M. Silvopastoral systems in Northwestern Patagonia II: water balance and water potential in a stand of *Pinus ponderosa* and native grassland. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 47–55, 2002.

HOUGHTON, D. Trees and erosion control. **Queensland Agricultural Journal**, v. 110, p. 9-12, 1984.

IWATA, B de. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado Piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, p.730–738, 2012.

JACOMINE, P. T. K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 96-111.

JANSSENS, I. A.; SAMPSON, D. A.; CURIEL-YUSTE, J.; CARRARA, A.; CEULEMANS, R. The carbon cost of root turnover in a Scots pine forest. **Forest Ecology and Management**, v.168, p.231-240, 2002.

JOSE, S.; BARDHAN, S. Agroforestry for biomass production and carbono sequestration: An overview. **Agroforestry Systems**, v. 86, p 105 – 111, 2012.

JÚNIOR, S. L. de A.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27,p.35-41, 2003.

KAHN, F. Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale dense humide. **Candollea**. v. 32, p.321-358, 1977.

KARAMESOUTI, M.; DETSIS, V.; KOUNALAKI, A.; VASILIOU, P.; SALVATI, L.; KOSMAS, C. Land-use and land degradation processes affecting soil resources: Evidence from a traditional Mediterranean cropland (Greece). **Catena**, v.132, p. 45–55. 2015.

KASMANI, J. E.; NEMATI, M. SAMARIHA. A.; CHITSAZI, H.; MOHAMMADI, N. S.; NOSRATI, H. Studying the effect of the age in *Eucalyptus camaldulensis* species on wood chemical compounds used in pulping process. *American-Eurasian Journal. Agricultural. & Environmental Science.*, v. 11, p 854-856, 2011.

LEHMANN, J.; SCHROTH, G.; ZECH, W. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. **Agroforestry Systems**, v. 29, p 21 – 36, 1995.

LISBÔA, F. M.; PAUSE, A. G da. S.; Sobrevivência de leguminosas arbustivas em pastagem consorciada, Itupiranga, PA. **Agroecossistemas**, v. 2, n. 1, p. 48-52, 2010.

LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.. Structure of the herb stratum under different light regimes in the Submontane Atlantic Rain Forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69 p. 289-296, 2009.

LOPES, V. G.; SCHUMACHER, M. V.; MÜLLER. I.; CALIL, F. N.; WITSCHORECK, R.; LIBERALESSO, E. Variáveis físicas e químicas do solo importantes na distribuição de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.1, p.14-23, jan./abr. 2013.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.9, p. 09-19, 2010.

MACEDO, R.L.G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais** - Lavras: UFLA/FAEP, 2000, 157p. Curso de Pós Graduação “latu - Sensu” (Especialização) a distância: Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**,v.21, p.93-98, 2000.

MAFRA, A.L; MIKLÓS, A.A.W; VOCURCA, H. L., HARKALY, A. H.; MENDOZA, E. Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 43-48, 1998.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A da.S.; OLIVEIRA, T. S de.; MEDONÇA, E de. S.; FILHO, J. A de. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v.30, p.837-848, 2006.

MAIA, G.N. **Caatinga: árvores arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Leitura e Arte, 2004. 413p.

MAHIEU, S.; METAY, A.; BRUNEL, B.; DUFOUR, L. Nitrogen fluxes in chickpea grown in Mediterranean agroforestry systems. **Agroforest Systems**. v.90, p. 313 – 324, 2016.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C.;SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, A. F dos.; NAGAI, M. A. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, p.581–587, 2013.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVASI, M de. M. Lignin in Woody Plants under Water Stress: A Review. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 589-597. out./dez. 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

McCLAUGHERTY, C. A.; ABER, J. D.; MELILLO, J. M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. **Ecology**, v. 63, p. 1481-1490, 1982.

MONTEIRO, T. **Avaliação da qualidade e quantidade de carbono e nitrogênio no solo de Iperó-SP**. 2013 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)– Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2006.

MONTOYA, J.M. Efectos del arbolado de las dehesas sobre los factores ecológicos que actúan al nivel del sotobosque. **Serie Forestal**, v.5, p. 61-85, 1982.

NAIR, P. K. R. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems*. v. 86, p 243 – 253, 2012.

NASCIMENTO, C. D. V do. **Contribuições de componentes vegetais na qualidade do solo em sistema agrossilvipastoril no semiárido**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2016.

NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. P da.; THIAGO, L. R. L de. S.; NETO, M. M. G.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris – introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste brasileiro- Campo Grande**. Embrapa Gado de Corte, 2004. 37 p. (Documento 146 / Embrapa Gado de Corte)

NICODEMO, M. L. F. **Dinâmica da água em sistemas agroflorestais** – São Carlos, SP. Embrapa Pecuária Sudeste, 2011. 36f. (Documento 102/ Embrapa Pecuária Sudeste).

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M de.; MARTINS, C. A da. S.; BERNARDES, C de. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, v.8, p. 2121- 2131, 2012.

NOGUEIRA, R da. S. OLIVEIRA, T. S de.; MEDONÇA, E de. S.; FILHO, J. A de. A. Formas de fósforo em Luvissoles Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 494-502, out-dez, 2008.

NUNES, A. A. L. **Qualidade do solo em unidades de manejo agroflorestal e mata nativa em neossolo flúvico no município de Irauçuba-CE**. 2014. 54f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

OLIVEIRA, T. S.; NOGUEIRA, R da. S.; TEIXEIRA, A dos. S.; CAMPANHA, M. M.; ROMERO, R. E. Distribuição espacial do índice de manejo do carbono em Luvissoles

sob Sistemas Agrícolas Tradicionais e Agroflorestais no Município de Sobral-CE. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 4, p. 830-834, nov. 2009.

OLIVEIRA, N. G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L de.; GUERRA, J. G. M. Feijão-vagem semeado sobre cobertura viva perene de gramínea e leguminosa e em solo mobilizado, com adubação orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1361-1367, set. 2006.

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

PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 3-15, 2011.

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

PAULINO, G. M. **Potencial de leguminosas para adubação verde em consórcio com mangueira e gravioleira sob manejo orgânico** – 2008. 125 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Campo de Goytacazes. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

PERINO, H. Rehabilitation of a denuded watershed through the introduction of kakawate (*Gliricidia sepium*). **The Philippine Forest Research Journal**, v.4, p.49-67, 1979.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, p 413-424, 2006.

PRITCHETT, W. L. **Properties and Management of Forest Soils**. JOHN WILEY & SONS. 500p. New York, 1979.

PROCÓPIO,S.O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, p. 365-374, 2004.

PROTÁSIO, T de. P.; NEVES, T. A.; REIS, A. A dos.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 465-477, 2014.

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

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R de.; DRUMOND, M. A. **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) Árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo, PR. Embrapa Florestas. 2003. 4p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 104).

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. **Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Curitiba: EMBRAPA-FLORESTA, 10p, 2002.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

SÁ, C. O de.; SÁ, J. L de.; RANGEL, J. H de. A.; MUNIZ, E. N. **Glirícidia formas de plantio e cultivo**. Aracaju, SE. Embrapa Tabuleiro Costeiros, 2012. 2p.

SACRAMENTO, J. A. A do. **Estoques e fluxos de C e N em sistemas agrícolas tradicional e agroflorestais no semiárido brasileiro**. 2012. 76f. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2012.

SAMPAIO, E. V.S.B.; ARAÚJO, M do. S. B.; SAMPAIO, Y. S.B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, p. 90-112, jan/jun. 2005.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.

SANTOS, H. G dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C dos. OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COLEHO, M.R.; ALMEIDA, J. A de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF. Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V de.; NETO, A. E. F.; CORTE, E. F. Crescimento e acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, p. 799-807, set./ oct. 2008.

SANTOS, C. E. de R. e S.; STAMFORD, N. P.; NEVES, M. C. P.; RUNJANEK, N. G.; BORGES, W. L.; BEZERRA, R. V.; FREITAS, A. D. S. Diversidade de rizóbios capazes de nodular leguminosas tropicais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, p.249-256. 2007.

SANTOS, M. J. C. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental**. 2000. 75p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; VOSS, M.; JACQUES, A. V. A. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de *Adesmia latifolia* e *Lotus carniculatus* em vasos de Leonard. **Revista Brasileira Zootecnia**. v. 30, p. 687-693, 2001.

SILVA, A. B.; JUNIOR, M. A. L.; JUNIOR, J. C. B. D.; FIGUEIREDO, M do. V. B.; VICENTIN, R. P. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 502-511. 2013.

SILVA, C. I da.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T de.; FONSECA, V. L. I. Guia de plantas: visitadas por abelhas na Caatinga. Fortaleza, CE: **Editora Fundação Brasil Cidadão**, 2012. 99p.

SILVA, F. de A. S. e. & AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, D.A. da. **Efeito de sucessão de culturas na qualidade do solo em um sistema de plantio direto: Sucessão de culturas na matéria orgânica do solo em um sistema plantio direto.** 2007. 71 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2007.

SILVA, V. J. M da. **Uso de sistemas agroflorestais como viabilizadores de corredores ecológicos.** 2008. 78p. Curso de Pós Graduação “latu - Sensus” (Especialização) a distância: Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2008.

SILVA, G. L da. **Qualidade física de um Luvisolo cultivado com sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense.** 2008. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

SILVA, L. X da.; FIGUEIREDO, M do. V. B.; SILVA, G. A da.; OLIVEIRA, J. de. P.; BURITY, H. A. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de plantio de Leucena e Sabiá no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, v.31, p.427-435, 2007.

SILVA, J de. C.; MATOS, J. L. M de.; OLIVEIRA, J. T da. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.29, p.455-460, 2005.

SILVEIRA, N. D.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R de. L.; MELLO, R. B. Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 129-136, 2007.

SILVER, W. L.; THOMPSON, A. W.; MCGRODDY, M. E.; VARNER, R. K.; DIAS, J. D.; SILVA, H.; CRILL, P. M.; KELLER, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils, **Global Change Biology**, v. 11, p. 290–306, 2005.

SILVER, W.L.; MIYA, R. K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate the litter quality effects. **Oecologia**, v. 129, p. 407–419, 2001.

SUZUKI, S.; SUZUKI, Z.; YAMAMOTO, N.; HATTORI, T.; SAKAMOTO, M.; UMEZAWA, T. High-throughput determination og thioglycolic acid lignin from rice. *Plant Biotechnol.* v. 26, p 337 – 340, 2009.

- TAKIMOTO, A.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. **Ecosystems and Environment**, v. 125, p. 159–166, 2008.
- TAVARES, R de. C. Efeito da inoculação com fungo micorrízico arbusculares e adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2007.
- TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; NETO, S. N de. O.; BRIANEZI, D.; ALVEZ, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 235-244, jul/set. 2014.
- THEVENOT, M.; DIGNAC, M. F.; RUMPEL, C. Fate of lignins in soils: A review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1200-1211, 2010.
- TREVISAN, R.; MATTOS, M.L.T. & HERTER, F.G. Atividade microbiana em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico coberto com aveia preta (*Avena* sp.) no outono, em um pomar de pessegueiro. **Ciência Rural**, v. 7, p. 83-89, 2002.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físicas-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.
- VAN NOORDWIJK, M.; DOMMERGUES, Y.R. Root nodulation: the twelfth hypothesis. **Agroforestry Today**. v.2, p. 9-10, 1990.
- VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; KLÜPPER, M. L. W.; BARBEIRO, L da. S. S. Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, p. 145-155, abr./jun. 2009.
- VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Deposição de serapilheira e nutrientes por espécies nativas em uma floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Revista Floresta**, v. 42, p. 129 - 136, jan./mar. 2012.
- VOGT, K. A. Carbon budgets of temperate forest ecosystems. **Tree Physiology**, v.9, p.69-86, 1991.
- VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; MOORE, E. E.; SPRUGEL, D. G. Methodological considerations in measuring biomass, production, respiration and nutrient resorption for tree roots in natural ecosystems. In: Torrey, J.G.; Winship, L.J. (Eds.). **Applications of continuous and steady-state methods in root biology**. Dordrecht : Kluwer, 1989. p.217-232.
- WEST J.; ESPELETA J.; DONOVAN L. Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris*-*Aristida stricta* savanna ecosystem. **Forest Ecology and Management**. v.189, p. 397–406, 2004.

- WEZEL, A; BENDER, S. Degradation of agro-pastoral village land in semi-arid southeastern Cuba. **Journal of Arid Environments**, v. 59, p. 299–311, 2004.
- WINCKLER CALDEIRA, M. V.; SILVA, E. M. R da.; FRANCO, A. A.; ZANON, M. L. B. Comportamento de mudas de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p. 135-142, 1999.
- XAVIER, D.F.; CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicais**, v.25, p.21-26, 2003.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2.ed. Wallingford: ICRAF and CAB International, 1997. 320 p.
- ZELARAYÁN, M. L. C.; CELENTANO, D.; OLIVEIRA, E. C.; TRIANA, S. P.; SODRÉ, D. N.; MUCHAVISOY, K. H. M.; ROUSSEAU, G. X. Impacto da degradação sobre o estoque de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 45, p. 271 – 282. 2015.
- ZHAO, W. Z.; XIAO, H. L.; LIU, Z. M.; LI, Z. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. **Catena**, v. 59, p. 173–186, 2005.