

FRANCISCO TIBÉRIO DE ALENCAR MOREIRA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO DE
ITAPARICA, SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

**Recife – Pernambuco – Brasil
Fevereiro de 2018**

FRANCISCO TIBÉRIO DE ALENCAR MOREIRA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO DE
ITAPARICA, SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva
Orientador

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira
Co-orientador

**Recife – Pernambuco – Brasil
Fevereiro de 2018**

Ficha Catalográfica

M838a Moreira, Francisco Tibério de Alencar.
Avaliação de um Sistema agroflorestal na região de Itaparica,
Semiárido pernambucano / Francisco Tibério de Alencar Moreira. –
Recife, 2018.
101 f.: il.

Orientador(a): José Antônio Aleixo da Silva.
Coorientador(a): Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,
Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências e anexos.

1. Viabilidade econômica 2. *Eucalyptus* 3. Crescimento em
altura
I. Silva, José Antônio Aleixo da, orient. II. Ferreira, Rinaldo Luiz
Caraciolo, coorient. III. Título

CDD 574

FRANCISCO TIBÉRIO DE ALENCAR MOREIRA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO DE
ITAPARICA, SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Aprovada em: 28/02/2018

Orientador:

Prof. José Antônio Aleixo da Silva
Departamento de Ciências Florestais/UFRPE

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco/IFPE

Dr. Antônio Felix da Costa
Instituto Agrônomo de Pernambuco/IPA

Prof^a. Dra. Rute Berger
Departamento de Ciências Florestais/UFRPE

Prof. Dr. Rafael Leite Braz
Departamento de Ciências Florestais/UFRPE

**Recife – Pernambuco – Brasil
Fevereiro de 2018**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me dar força e disposição para seguir buscando meus objetivos e superar novos desafios;

A toda a minha família, por todo o apoio e palavras de incentivo, principalmente aos meus pais Ana e Geraldo, e meus irmãos Thaise, Thannize e Tulio;

A Lyanne Alencar, que sempre esteve ao meu lado durante essa caminhada até aqui, agradeço a ela por mais esta conquista em minha vida, sem a sua dedicação e as suas palavras de apoio eu não teria conseguido, a ela a minha eterna gratidão;

A Hortência Lima, minha namorada, por todo apoio e palavras de incentivo, meu muito obrigado;

Ao Professor José Antônio Aleixo da Silva pela orientação, amizade e pelos conhecimentos repassados e pela confiança depositada na minha pessoa para desenvolver o presente trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, que de forma positiva contribuíram para a minha formação, em especial ao Prof. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pela co-orientação e apoio dado ao desenvolvimento desta pesquisa;

Aos colegas Rubeni e Guilherme, que me ajudaram durante a instalação e coleta dos dados do experimento, toda a minha eterna gratidão;

Aos meus amigos Guera, Cesar, Juvenal, Thyego, Wesley, Jordânia, Marília Grugiki, Najara, Tamires, Alberto, Nanny, Fernanda, Yara, Diego, Samara, Suelen, Nailson, Natan, Gabi, Léo e Rafael, pelos conselhos, companheirismo e boas conversas, muito obrigado;

Ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) e aos seus funcionários, em especial, aos da estação experimental de Belém do São Francisco (Rômulo, Edilson, Vadinho, Ailton, Cícero, João Elois, Evaristo, Gerônimo, Elisaldo, Vilemar, Francisco, Nilsinho, Bimbo, Almir, Bailson, João, Dr. Felix, Dr. Jonas, Mario e Edneide) que contribuíram na realização deste trabalho, muito obrigado;
Aos colegas de turma no PPGCF;

A FACEPE e ao CNPq pelo apoio financeiro essencial para a realização deste trabalho;

Enfim, a todos aqueles que porventura tenha esquecido de citar seus nomes e que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho e em minha pós-graduação, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 O reservatório de Itaparica	14
2.2 Cultivos consorciados	15
2.3 Sistemas agroflorestais (SAFs): conceitos, classificação e importância	16
2.4 Sistemas agroflorestais no semiárido	18
2.5 Sistemas agroflorestais com eucalipto	21
2.6 Sistemas agroflorestais com espécies nativas	22
2.7 Feijoeiro em SAFs.....	23
2.8 Adubação orgânica	25
2.8.1 Sedimentos de reservatórios	26
2.8.2 Resíduos de tanques de piscicultura	27
2.8.3 Biocarvão	28
2.9 Rentabilidade econômica de um SAF	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Localização e descrição da área de estudo.....	33
3.2 Análises físicas e químicas do solo da área em estudo.....	33
3.3 Análises químicas das fontes de nutrientes e do biocarvão	34
3.4 Instalação do experimento	34
3.5 Caracterização do SAF	36
3.6 Coleta dos dados	37
3.7 Análise estatística	37
3.8 Determinação do fator de forma e volume das árvores	38
3.9 Avaliação do rendimento da cultura agrícola no SAF	38
3.10 Análise da viabilidade econômica do sistema agroflorestal	39
3.10.1 Valor Presente Líquido (VPL)	40
3.10.2 Valor Anual Equivalente (VAE)	41
3.10.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	41
3.10.4 Razão Benefício/Custo (B/C)	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Sobrevivências das espécies florestais	43
4.2 Crescimento em altura das espécies florestais	43

4.3 Efeito das fontes de nutrientes e do condicionador de solo no crescimento em altura das espécies florestais	49
4.4 Efeito dos espaçamentos no crescimento em altura das espécies florestais	53
4.5 Volumetria e fator de forma	59
4.6 Avaliação do rendimento do feijão-caupi no sistema agroflorestal	60
4.6.1 Avaliação da produtividade da cultura agrícola em função das fontes de nutrientes e do condicionador de solo	63
4.7 Avaliação econômica da produção do feijão-caupi no sistema agroflorestal	68
4.8 Estimativa das produções de lenha e estacas em função da adubação orgânica e dos espaçamentos	72
4.9 Avaliação econômica do sistema agroflorestal	75
5 CONCLUSÕES	81
ANEXOS	82
6 REFERENCIAS	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas do solo da área do experimento instalado na Estação do IPA, Belém de São Francisco, PE	34
Tabela 2 - Características químicas do solo da área do experimento instalado na Estação do IPA, Belém de São Francisco, PE	34
Tabela 3 - Taxa de sobrevivência (%) das espécies usadas no plantio dos sistemas agroflorestais e em monocultivo em uma área experimental instalada na Estação Experimental do IPA, no município de Belém do São Francisco, PE.	43
Tabela 4 - Teste de esfericidade de Mauchly para o crescimento médio em altura (m) das quatro espécies florestais cultivadas na Estação Experimental do IPA, em Belém do São Francisco - PE	44
Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) dos fatores e suas interações no crescimento em altura das quatro espécies florestais aos 36 meses de idade	44
Tabela 6 - Análise de variância (MANOVA) para os fatores tempo, espécies, fontes de nutrientes e espaçamento aos 36 meses de idade	45
Tabela 7 - Teste de Tukey para crescimento médio em altura para as espécies florestais aos 36 meses de idade	46
Tabela 8 - Teste de Tukey para crescimento médio em altura das espécies florestais aos 36 meses de idade, em função das fontes de adubação e do condicionador de solo	50
Tabela 9 - Testes de Tukey ao nível de 5% de significância para as médias de altura ao longo do tempo (36 meses) para os dois espaçamentos avaliados ..	54
Tabela 10 – Produtividade do feijão-caupi nos sistemas agroflorestais e em monocultivo e os seus respectivos valores de UET	61
Tabela 11 - Análise econômica da produção de feijão-caupi nos sistemas agroflorestais.	69
Tabela 12 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 3 m x 2 m isolado entre os 18 e 36 meses de idade	72

Tabela 13 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 4 m x 2 m isolado entre os 18 e 36 meses de idade	72
Tabela 14 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 4 m x 2 m consorciado entre os 18 e 36 meses de idade	73
Tabela 15 – Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 3 m x 2 m	74
Tabela 16 – Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 4 m x 2 m isolado	74
Tabela 17 - Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 4 m x 2 m consorciado	74
Tabela 18 – Fluxo de caixa considerando a venda de lenha e a venda da lenha em conjunto com estacas no sistema em monocultivo dos dois clones de eucalipto no espaçamento 3 m x 2 m aos 36 meses	75
Tabela 19 - Fluxo de caixa considerando a venda de lenha e a venda da lenha em conjunto com estacas no sistema em monocultivo dos dois clones de eucalipto no espaçamento 4 m x 2 m aos 36 meses	77
Tabela 20 - Fluxo de caixa considerando a venda de lenha, a venda da lenha em conjunto com estacas e a venda do feijão-caupi no sistema agroflorestal para os dois clones de eucalipto no espaçamento 4 m x 2 m aos 36 meses	78
Tabela 21 – Valores obtidos após a realização da análise financeira do sistema agroflorestal considerando o sistema 3 m x 2 m em monocultivo aos 36 meses	79
Tabela 22 – Valores obtidos após a realização da análise financeira do sistema agroflorestal considerando o sistema 4 m x 2 m aos 36 meses	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das culturas florestais que compõem o sistema agroflorestal.....	48
Figura 2 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das três culturas florestais sob o efeito de diferentes fontes de nutrientes.....	51
Figura 3 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das quatro culturas florestais sob o efeito dos espaçamentos.....	55
Figura 4 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das quatro culturas florestais sob o efeito de diferentes tipos de espaçamentos.....	57
Figura 5 - Produtividade do feijão-caupi nos sistemas agroflorestais e em monocultivo.....	62
Figura 6 - Produtividade do feijão-caupi isolado em função das fontes de nutrientes avaliadas	64
Figura 7 - Produtividade do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais	65
Figura 8 - Produtividade do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais adubado com as fontes de nutrientes avaliadas.....	66
Figura 9 - Valores de VPLs calculados para a análise financeira da produção de feijão-caupi nos sistemas agroflorestais.....	70
Figura 10 - Receitas geradas com venda de feijão-caupi produzido em monocultivo e nos sistemas agroflorestais	71

MOREIRA, FRANCISCO TIBÉRIO DE ALENCAR. Avaliação de um sistema agroflorestal na região de Itaparica, semiárido pernambucano.

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o retorno econômico e o desenvolvimento de quatro culturas florestais (dois clones de eucaliptos, angico e aroeira) em um sistema agroflorestal com feijão-caupi, adubadas com duas fontes de nutrientes: resíduos de tanques de piscicultura e sedimento do lago de Itaparica, e o biocarvão como condicionador de solo. O experimento foi implantado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em Belém de São Francisco – PE. Foram mensuradas as alturas de todas as árvores a cada três meses, até os 15 meses, sendo a partir desse período, realizadas mensurações de altura e da circunferência da altura do peito (CAP) a cada seis meses, totalizando 36 meses. Foram instaladas 192 parcelas, distribuídas em três espaçamentos: 3 m x 2 m em monocultivo, 4 m x 2 m em monocultivo e 4 m x 2 m em consórcio, distribuídas aleatoriamente, com 4 repetições para cada tratamento, incluindo a testemunha (sem adubação). Cada parcela possuía 28 plantas, das quais 10, ocupavam a área útil. A adubação das culturas florestais e feijão-caupi com as fontes de nutrientes e com o biocarvão, foi realizada durante a implantação do experimento e uma segunda adubação realizada 12 meses após a implantação. O feijão-caupi foi semeado no espaçamento 0,80 m x 0,30 m, sendo plantado na área útil de cada parcela do sistema agroflorestal. Na análise do crescimento em altura das culturas florestais, utilizou-se o método estatístico multivariado de medidas repetidas. Para a análise econômica do sistema agroflorestal e dos monocultivos foram considerados os custos e as receitas com a produção do feijão-caupi ao longo do período de avaliação do sistema, além da simulação realizada com a produção e comercialização de lenha e estacas. As fontes de nutrientes, resíduos dos tanques de piscicultura e sedimentos do lago de Itaparica, contribuíram significativamente no crescimento em alturas das culturas florestais e do feijão-caupi, tornando-se alternativas para serem usados como biofertilizantes em plantios florestais e agrícolas na região de Itaparica. O biocarvão não apresentou resultados significativos no desenvolvimento das culturas florestais e do feijão-caupi. As maiores médias em altura para as culturas florestais foram alcançadas no espaçamento 3 m x 2 m, apresentando um valor médio de 7,62 m aos 36 meses. O clone MA 2001 foi o que apresentou a maior média de crescimento em altura entre os clones de eucalipto. Entre as espécies nativas avaliadas, o maior crescimento médio foi verificado para o angico. Os consórcios entre as espécies nativas, angico e aroeira, apresentaram os melhores resultados em relação à produtividade do feijão-caupi. O feijão-caupi em monocultivo obteve as maiores produtividades quando comparado aos sistemas agroflorestais. Na análise econômica dos sistemas avaliados, a combinação “lenha e estacas” proporcionou as maiores receitas, sendo, portanto, mais lucrativo quando comparado com a venda de apenas lenha.

Palavras-chave: viabilidade econômica; *Eucalyptus*; crescimento em altura.

MOREIRA, FRANCISCO TIBÉRIO DE ALENCAR. Evaluation of an agroforestry system in the region of Itaparica, semi-arid of Pernambuco.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the economic return and development of four forest crops (two clones of eucalyptus, angico and aroeira) in an agroforestry system with beans, fertilized with two nutrient sources: fish tank residues and sediment of the lake of Itaparica, and the biochar as soil conditioner. The experiment was carried out at the Experimental Station of the Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) in Belém de São Francisco - PE. The heights of all trees were measured every three months until 15 months, and from that period, height and CAP measurements were performed every six months, totaling 36 months. A total of 192 plots were distributed in tree spacing: 3 m x 2 m in monoculture, 4 m x 2 m in monoculture and 4 m x 2 m in a consortium, randomly distributed with 4 replicates, including the control (without fertilization). Each plot had 28 plants, of which 10 occupied the useful area. Fertilization of forest crops with nutrient sources and biochar was carried out during the experiment and a second fertilization was carried out 12 months after the implantation. The cowpea beans was sown at a spacing of 0.80 m x 0.30 m, being planted in the useful area of each plot of the agroforestry system. The multivariate statistical method of repeated measurements was used to analyze the growth in height of forest crops. For the economic analysis of the agroforestry system and the monocultures, the costs and revenues with the production of cowpea throughout the evaluation period of the system were considered, as well as the simulation carried out with the production and sale of firewood and stakes. The sources of nutrients, fish tank residues and sediments from Itaparica lake, contributed significantly to the growth in forest height and cowpea crop, becoming alternatives to be used as biofertilizers in forest and agricultural plantations in the region of Itaparica. Biochar did not present significant results in the development of forest and cowpea crops. The highest height averages for forest crops were reached in the spacing 3 m x 2 m, with 7,62 m at 36 months. The clone MA 2001 presented the highest average height growth for the evaluated eucalyptus clones. Between the native species evaluated, the highest average was verified for the angico. The consortium between native species, angico and aroeira, presented the best results in relation to cowpea bean productivity. Cowpea in monoculture obtained the highest yields and the highest in relation to agroforestry systems. In the economic analysis of the systems evaluated, the combination of "firewood and stakes" provided the highest revenues and was therefore more profitable compared to the sale of only firewood.

Keywords: Economic viability; *Eucalyptus*; growth in height.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 80, a região de Itaparica, localizada no semiárido pernambucano, teve uma extensa área territorial inundada em decorrência da construção do reservatório hídrico da estação Hidroelétrica de Itaparica, cujo objetivo foi suprir a demanda hídrica e energética da região.

Se por um lado a construção desse reservatório trouxe novas perspectivas de negócios para a região, por outro surgiram sérios problemas de ordem ambiental, social e econômica. A realocação da população das áreas alagadas para outras áreas ocasionou a retirada de grande parte da vegetação nativa, causando degradação ambiental.

A prática inadequada da irrigação também foi determinante na degradação ambiental da região, ocasionando a elevação do nível dos lençóis freáticos em diversas áreas, causando encharcamentos por falta de sistemas de drenagem, resultando, assim, em salinização e redução da capacidade produtiva dos solos (SOBRAL et al., 2007).

Outro fator agravante na região e que contribui para a redução da capacidade produtiva dos solos são os plantios de monoculturas agrícolas que tendem a esgotar os recursos nutricionais dos solos, que são posteriormente abandonados.

Essas ações são preocupantes em relação às questões da preservação e conservação ambiental e a necessidade do melhor aproveitamento dos recursos naturais. Assim, para que as atuais e futuras produções de alimentos e outros bens sejam atendidas é necessária a adoção de novos sistemas de produção para à região que possam desempenhar seu papel com benefícios socioeconômicos e ambientais, visando sempre alcançar a sustentabilidade (ALMEIDA, 2010).

Neste contexto, a adoção de novos sistemas de produção, tais como os sistemas agroflorestais (SAFs), aparece como uma alternativa para diversificar a produção, permitindo o equilíbrio entre a oferta de produtos florestais e agrícolas e, ao mesmo tempo, o fornecimento de serviços ambientais (PASSOS, 1997).

Os SAFs são caracterizados pelo uso do solo onde plantas lenhosas (árvores, arbustos) podem ser manejadas em associação com culturas agrícolas, forrageiras e em integração com animais em um mesmo local (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008).

Na composição de um SAF é importante avaliar quais espécies arbóreas devem ser utilizadas. Essas espécies devem possuir características como boa adaptabilidade aos solos que possuem baixa fertilidade, resistência a variações de temperatura, boa produtividade, capacidade de rebrotar e devem ser resistentes aos tratamentos silviculturais como a realização de podas e serem resistentes a doenças (MACEDO et al., 2008).

Dentre as diversas espécies que possuem potencial para compor um SAF, destacam-se algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, pois apresentam grande potencial produtivo e boa capacidade de adaptação a regiões semiáridas.

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Mirtaceae, apresenta grande plasticidade e crescimento satisfatório (LIMA, 1996). De acordo com Ribaski (1994), os eucaliptos podem alcançar produtividades bem superiores em relação às espécies da vegetação nativa, no caso da Caatinga.

Também se faz necessário avaliar o desenvolvimento de espécies nativas do bioma Caatinga em SAFs, uma vez que, mesmo com uma produção volumétrica inferior às das espécies de rápido crescimento, essas espécies já estão adaptadas às condições climáticas da região. Entre as espécies florestais da Caatinga, o angico [*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan] e a aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) se destacam por seus vários usos, desde fonte energética até uso medicinal.

Entre as culturas agrícolas que podem ser utilizadas em consórcio com as espécies florestais em um SAF, está o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), pois apresenta a vantagem de ser uma cultura agrícola de ciclo curto e com bom valor de venda no comércio e servir de alimento básico no regime alimentar da região.

No entanto, antes de começar qualquer atividade é necessário que seja feita uma análise econômica visando detectar possíveis prejuízos ou lucros com o negócio. A análise econômica de um projeto agroflorestal é fundamental como ferramenta de decisão na escolha da melhor alternativa a se adotar. Dentre os

principais critérios utilizados para avaliação econômica de projetos florestais se destacam: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Razão Benefício/Custo (B/C).

Em se tratando de avaliação econômica de SAFs, o emprego de insumos agrícolas, na maioria das vezes, não é praticado por falta de recursos dos pequenos produtores rurais. Daí surge a necessidade de avaliar novas formas de adubos orgânicos que possuam viabilidade e que sejam efetivos e, principalmente, de baixo custo de aquisição.

Na região de Itaparica, uma das principais atividades econômicas após a construção do reservatório tem sido a piscicultura que corresponde à criação de peixe em tanques escavados ou em gaiolas dentro do próprio reservatório. Periodicamente, uma grande quantidade de resíduos é retirada desses tanques para que sejam reutilizados na piscicultura. Geralmente, esses resíduos são jogados no próprio reservatório, sendo que poderiam ser aproveitados como fertilizantes orgânicos. Com um custo praticamente inexistente, esses resíduos podem vir a se tornar uma fonte rica em nutrientes para ser utilizada em monocultivos e sistemas agroflorestais.

Outra opção que também pode ser avaliada como fonte de adubação orgânica são os sedimentos depositados ao longo do reservatório. Esse tipo de material é resultante do intemperismo e da erosão de minerais e matéria orgânica, e se acumula nas margens ou nas partes mais profundas dos rios, podendo constituir uma opção a ser utilizada como fertilizante na agricultura de pequenas propriedades.

Por ser considerado um insumo de baixo custo de aquisição quando comparado aos fertilizantes industriais, o biocarvão (carvão vegetal) surge também como outra fonte orgânica, podendo ser utilizado pelo pequeno produtor rural em monocultivos ou em SAFs.

O biocarvão, fragmentado em pequenos pedaços, atua como condicionante do solo e tem como principal utilidade a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, aumentando sua fertilidade pela redução do lixiviamento de nutrientes sem que haja redução da fauna do solo (LEHMANN et al., 2011; SINGH et al., 2010; JEFFERY et al, 2011).

Desta forma, esta pesquisa objetivou avaliar, o efeito do uso dos resíduos do reservatório de Itaparica e dos sedimentos de tanques de piscicultura como fertilizantes orgânicos e do biocarvão como condicionador de solo, no crescimento de quatro culturas florestais, sendo dois clones de eucalipto (MA 2001 e MA 2001), angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil) e aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), consorciados ou não em dois sistemas: o agroflorestal com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e em monocultivos, além de realizar a simulação da avaliação econômica desses dois sistemas na produção de estacas e lenha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O reservatório de Itaparica

O rio São Francisco possui uma extensa bacia hidrográfica, que drena uma área de aproximadamente 640.000 km². A bacia se localiza entre os estados brasileiros de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. Com cerca de 2.700 km de extensão, o rio São Francisco nasce nas cabeceiras da Serra da Canastra, no estado de Minas Gerais, e deságua no oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas (MELO, 2007).

O rio São Francisco possui, ao longo do seu curso, grandes reservatórios, entre os quais se destacam: Três Marias, Sobradinho e Itaparica.

O reservatório de Itaparica possui uma capacidade de armazenar 11 bilhões m³ de água e possui uma profundidade média de 21 m. Sua bacia hidrográfica é composta, principalmente, pelo rio São Francisco e por alguns rios intermitentes que ocorrem na região. O reservatório de Itaparica possui aproximadamente 150 Km de extensão, banhando os municípios de Jatobá, Petrolândia e Belém do São Francisco no estado de Pernambuco, e Glória, Rodelas, Chorrochó e Abaré no estado da Bahia (CANDEIAS; BARBOSA; BARBOSA, 2007).

A partir do funcionamento do reservatório de Itaparica no ano de 1988, tem-se verificado a ocorrência de diversos problemas ambientais, resultantes da exploração não sustentável da vegetação ao longo das margens do lago, sendo essas áreas utilizadas, principalmente, para plantios agrícolas e construção de áreas urbanas (SOBRAL; CARVALHO, 2006).

A retirada de grande parte da vegetação nativa resultou em degradação ambiental com perda da capacidade produtiva do solo, o que alterou os ciclos geobiológicos da região, provocando perda da biodiversidade, eutrofização e diminuição da qualidade das águas (SELGE; GUNKEL, 2013; GUNKEL; SOBRAL, 2013).

Outra atividade que vem causando impacto ambiental na região do reservatório de Itaparica é a utilização dos corpos de água para implantação da indústria da piscicultura em tanques próximos das margens do reservatório. Os restos de rações usadas na alimentação e as fezes dos peixes que ficam

acumuladas no fundo dos tanques são retirados e abandonados em áreas de descarte e muitas vezes despejados no reservatório, prática que contribui com o aumento do processo de eutrofização das águas do reservatório (GUNKEL, 2007).

De acordo com Melo (2007), para diminuir esses problemas ambientais ao longo do reservatório de Itaparica, faz-se necessária a implantação de programas de recuperação das margens do reservatório, com o objetivo de realizar um plantio de mudas de espécies adaptadas às áreas ciliares locais, melhorando a qualidade da água do reservatório e diminuindo os processos erosivos nas margens, além de buscar novas alternativas de aproveitamento para as terras que foram abandonadas por terem perdidos sua capacidade produtiva.

O autor sugeriu ainda uma interação com as populações que residem próximo ao reservatório por meio de inserção de atividades educativas, visando à sensibilização ambiental e o apoio da população aos novos projetos implementados.

2.2 Cultivos consorciados

Os cultivos consorciados podem ser definidos como sistemas produtivos em que duas ou mais culturas, com tipologias e ciclos vegetativos diferentes, são exploradas simultaneamente em uma mesma área (VIERA, 1998).

Esse tipo de consórcio entre culturas é uma prática adotada na maioria das propriedades rurais brasileiras, nos quais se busca reduzir os riscos de perdas, obter um maior retorno econômico, melhor aproveitamento das áreas disponíveis, além de constituir como alternativas viáveis para ampliar a oferta de alimentos (ANDRADE et al., 2001).

Essa prática é mais estável que os monocultivos porque, em muitos casos, se consegue restabelecer parte da diversidade perdida na prática do monocultivo, sendo possível ainda incrementar a produção agrícola diante do melhor aproveitamento dos fatores de crescimento, tempo e espaço, devido ao plantio das espécies em um ciclo repetitivo (LI et al., 2003).

Dentre as principais vantagens dos cultivos consorciados se podem citar: a redução do insucesso da monocultura; maior proteção do solo contra o

processo de erosão; melhor aproveitamento de mão de obra; a geração de renda extra e maior variabilidade e produção de alimentos (VIEIRA, 2006).

Ainda segundo esse mesmo autor, a maior desvantagem dos cultivos consorciados está no impedimento da utilização de técnicas agrícolas mais avançadas, principalmente no uso da mecanização, que é capaz de aumentar a eficiência e incrementar o rendimento agrícola.

2.3 Sistemas agroflorestais (SAFs): conceitos, classificação e importância

Um sistema agroflorestal (SAF) é definido como uma associação de povoamentos florestais com culturas agrícolas anuais e perenes, pastagens e mesmo espécies arbóreas ou arbustivas com produtos afins aos das culturas agrícolas (OLIVEIRA; SCHREINER, 1986).

Diversas são as definições para sistemas agroflorestais (SAFs), Montagnini (1992) os define como um conjunto de técnicas de manejo e uso do solo que envolvem a utilização simultânea de árvores e cultivos agrícolas, com pecuária ou ambos. São modelos de uso do solo que mais se assemelham ecologicamente com uma floresta natural, constituindo uma importante alternativa de uso eficiente do ecossistema tropical.

Outra definição para sistemas agroflorestais foi elaborada por Medrado (2000), que os define como um sistema de manejo sustentado da terra que melhora o seu rendimento, combinando espécies florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, em uma mesma área.

Os SAFs são classificados de acordo com a sua estrutura no tempo, espaço, quanto a sua importância relativa e a funcionalidade dos diferentes componentes, bem como as suas metas de produção e seus atributos sociais e econômicos. Esta classificação tem como objetivo facilitar a análise dos SAFs, agrupando-os de acordo com características semelhantes, sendo avaliados entre si, permitindo a generalização dos resultados (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010).

De acordo com Nair (1993), a classificação do SAF mais utilizada é a que considera os aspectos estruturais e funcionais agrupando esse sistema em três categorias:

- **Sistemas agrossilviculturais:** combinação entre árvores e/ou arbustos com espécies agrícolas;

- **Sistemas silvipastoris:** são caracterizados pela combinação de árvores e/ou arbustos com espécies forrageiras herbáceas e animais;

- **Sistemas agrossilvipastoris:** são caracterizados pela criação e manejo de animais em consórcios agrossilviculturais.

A consorciação de culturas agrícolas com as espécies florestais pode ser considerada como uma das alternativas para melhor aproveitar os recursos disponíveis em determinado local, amenizar problemas ambientais e reduzir as dificuldades financeiras para pequenos produtores e a subsistência.

Os SAFs apresentam benefícios ecológicos e econômicos, entre os quais se pode destacar: o aumento da biodiversidade, a melhora das propriedades químicas e físicas do solo, controle dos processos erosivos e da conservação do solo, melhora a retenção de carbono no solo, melhor aproveitamento dos recursos hídricos, conforto térmico para os animais, diversificação na produção de alimentos e aumento da renda para os agricultores (PACIULLO et al., 2007; MACEDO et al., 2008).

Considerando o lado ecológico, a existência de diferentes tipologias vegetais em uma mesma área garante um maior aproveitamento no uso da água e melhor utilização dos nutrientes disponíveis no solo. As espécies arbóreas, por possuírem raízes maiores, conseguem explorar um maior volume de solo, absorvendo água e nutrientes que as culturas agrícolas não absorvem, acelerando, assim, o processo da ciclagem de nutrientes devido a esse melhor aproveitamento dos nutrientes pelas culturas consorciadas (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010).

O aspecto econômico é uma das principais vantagens dos SAFs. Esse tipo de consórcio entre culturas florestais e culturas agrícolas surge como uma alternativa para diminuir os custos iniciais com a implantação do povoamento florestal, permitindo que haja um constante fluxo de caixa durante o período de crescimento do povoamento florestal, proporcionando alternância e diversificação de produção e de produtos ao longo do ano, além de fornecer rendas extras complementares (OLIVEIRA; MACEDO, 1996).

A variedade de produtos gera mecanismos de compensação capazes de ofertá-los no mercado de acordo com a demanda. Desta forma, ao utilizar os SAFs como técnica de cultivo, o agricultor fica protegido contra a baixa do preço do produto no mercado, já que essas baixas dificilmente atingem todos os produtos no mesmo momento, diminuindo, assim, os riscos de um único seguimento de negócio (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010).

Existe ainda o aspecto florestal do SAF, em que o seu componente arbóreo desempenha funções produtivas (madeira, fruto, resina, etc.), como funções de serviço (proteção, sombreamento, adubação), podendo ainda desempenhar simultaneamente, ambas as funções (OLIVEIRA et al., 2005).

2.4 Sistemas agroflorestais no semiárido

O nordeste do Brasil, assim como outras regiões do país, emprega o modelo agrícola que foi adotado pelos países desenvolvidos após o fim da Segunda Guerra Mundial. Esta modelo de agricultura transformou ecossistemas naturais em agroecossistemas, privilegiando uma, ou apenas algumas poucas espécies. Iniciou-se, deste modo, um processo de redução da biodiversidade biológica, provocando desequilíbrio ecológico, com elevados impactos ambientais negativos (SIQUEIRA, et al., 2006).

Os agroecossistemas baseados no uso descontrolado de produtos químicos, no manejo intensivo e na redução das áreas de vegetação (redução da biodiversidade) pelo processo de corte e queima têm apresentado como consequências a redução da qualidade do solo e a interrupção da continuidade dos seus processos biológicos, que são responsáveis pela mineralização dos nutrientes orgânicos para a nutrição das plantas. Esse problema é mais agravante em solos das regiões tropicais de avançado estágio de intemperismo, como vem acontecendo na região Semiárida do nordeste brasileiro. (GAMA-RODRIGUES et al., 2006).

As formas predominantes de uso da terra no Semiárido brasileiro (agricultura de sequeiro, pecuária extensiva, exploração de madeira), caracterizadas pela dependência do uso da água e por parte da degradação da vegetação e do solo, têm contribuído para a redução da disponibilidade hídrica,

levando ao esgotamento de fontes de energia de muito lenta reposição e, conseqüentemente, ao agravamento das suas condições socioeconômicas (SALIN, et al., 2012).

Nesse sentido, vários modelos e sistemas alternativos de uso da terra vem sendo testados nos últimos anos na região semiárida do Brasil. Altieri (1999) destacou os sistemas agroflorestais, que são formas que combinam a agricultura e/ou pecuária com as florestas em sistemas de produção sustentáveis na mesma propriedade, como estratégia promissora em programas de desenvolvimento rural de bases agroecológicas, sobretudo, por representar conceito de uso integrado da terra, em sistemas de baixos insumos, que se adapta particularmente às circunstâncias dos pequenos agricultores.

Nesse sentido, os SAFs têm sido amplamente promovidos como sistemas de produção sustentável e, particularmente, atraentes para agricultura familiar.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido apontados como de grande relevância, por apresentarem características ambientais, econômicas e sociais que contribuem com o desenvolvimento das comunidades rurais. Atualmente, essas técnicas vêm sendo utilizadas de forma eficaz, em relação à necessidade de produção de alimentos para o homem, na forma de associação entre cultivos agrícolas e florestais (ARAÚJO FILHO et al., 2010).

No Brasil, a maioria das pesquisas envolvendo SAF estão concentradas na região norte do país. Na região semiárida, esse tipo de técnica de plantio, ocorrem em menor escala, geralmente, abordam a qualidade dos solos por meio da aferição de indicadores físico-químicos e biológicos, comparativamente a outras práticas de plantio (BARRETO et al., 2006; MAIA et al., 2007).

De acordo com Ribaski (1993), o emprego de sistemas agroflorestais na região semiárida não é novidade, pois muitos agricultores já combinavam o plantio de espécies florestais, agrícolas e animais em uma mesma área. Só que esse tipo de atividade encontra algumas limitações para o desenvolvimento nessa região. Entre as principais limitações pode-se citar: a falta de recursos humanos capacitados, a limitação de recursos financeiros para o desenvolvimento de pesquisas com esse tipo de plantio, a carência informações sobre os aspectos econômicos, ecológicos e sociais, além da falta de linhas de

crédito para apoiar programas de reflorestamento com espécies de múltiplos usos.

Na região semiárida alguns sistemas agroflorestais vêm sendo avaliados por alguns pesquisadores. Drumond et al. (2004a) com o objetivo de relatar os principais resultados de pesquisa obtidos na Embrapa Semiárido como contribuição para a melhoria dos sistemas agroflorestais implantados no semiárido brasileiro, verificaram que os consórcios leucena x sorgo, *Eucalyptus camaldulensis* x capim-urocloa, algarobeira x agave, algarobeira x capim-buffel, gliricídia x palma e umbuzeiro x palma foram economicamente viáveis, e que a vantagem econômica desses sistemas consorciados depende do ganho adicional, como a venda de grãos, lenha e, ou, forragem, o sombreamento e a proteção de áreas diversas, obtido com a inclusão de culturas nos plantios silviculturais.

Drumond e Morgado (2004b), realizaram um levantamento sobre o potencial das espécies arbóreas leucena - *Leucaena leucocephala*, [(Lam.) de Wit.], liricídia - *Gliricidia sepium* [(Jacq.) Steud.] e algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., na composição de Sistemas Agroflorestais na região semiárida, concluindo que essas espécies apresentam potencial superior ao das espécies nativas da região, na produção de forragem, em quantidade e qualidade, em relação às plantas forrageiras tradicionais e gramíneas introduzidas na região; e na produção de lenha em menor espaço e tempo.

Campanha et al. (2009) avaliando o aporte e o estoque de carbono em sistemas agroflorestais comparado a sistemas convencionais e tradicionais, implantados no estado do Ceará, verificaram que os sistemas agroflorestais proporcionaram um maior aporte e estoque de carbono no solo, quando comparado aos sistemas convencionais e tradicionais, mostrando que são eficientes na conservação da matéria orgânica (MO) no sistema.

Ainda avaliando o estoque de carbono nos solos em que foram plantados sistemas agroflorestais, Lima et al. (2011) avaliaram as mudanças nas características químicas e nos estoques de carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais com seis e dez anos de adoção, sistema com base ecológica com três anos de adoção, agricultura de corte e queima e floresta nativa, no Norte do estado do Piauí, chegando à conclusão

que os sistemas agroflorestais melhoraram a qualidade do solo e podem ser considerados como estratégia conservacionista para o Norte do Piauí.

Em relação a produtividade de biomassa dos Sistemas Agroflorestais comparados com os sistemas convencionais no semiárido, Martins et al. (2013) verificaram que no sistema com árvores, o capim buffel foi a cultura com maior produtividade enquanto no sistema sem árvores os cultivos que mais produziram foram o buffel e o consórcio milho+feijão, e que os coeficientes de variação da produtividade anual de biomassa foram menores nos sistemas com a presença de árvores.

2.5 Sistemas agroflorestais com eucalipto

Nos últimos anos, algumas espécies exóticas que apresentavam características como rápido crescimento e grande capacidade de adaptação, como é o caso dos eucaliptos e dos pinus, vêm passando por intensos processos de melhoria genética, tendo como resultados híbridos que apresentam elevadas produções e excelente matéria prima. Esse elevado potencial produtivo das espécies exóticas, tem transformado o Brasil em referência mundial na área de exportação de produtos oriundos de plantios florestais (MMA, 2006).

Com uma área de aproximadamente 7,84 milhões de hectares plantados, o setor brasileiro de árvores é responsável por 91% de toda a produção de madeira para fins industriais, contribuindo com 6,2% do PIB industrial no país, além de ser um dos principais segmentos colaboradores com a economia verde (IBÁ, 2017).

No Brasil, o eucalipto tem sido bastante utilizado na composição de sistemas agroflorestais, isso devido a alguns fatores como o seu rápido crescimento, alta produtividade, capacidade de rebrota, variedades de produtos e a sua grande plasticidade ambiental (VALE, 2004; MACEDO et al., 2008).

Essa adaptação dos eucaliptos aos SAFs é devido a alguns atributos como a sua elevada capacidade fotossintética, formato diversificado das copas, sistema radicular capaz de explorar diferentes perfis de solo, além de possuir um maior potencial para geração de receita quando da realização da sua colheita (MACEDO et al., 2008).

Os plantios de eucaliptos, diversas vezes criticados e vistos como ameaça às florestas naturais, acabam contribuindo com a preservação dessas florestas, pois fornecem matéria-prima em menor espaço temporal que, em muitos casos, seria extraída das florestas naturais. A necessidade da implantação de povoamentos florestais é necessária para que ocorra o suprimento de alguns produtos florestais, principalmente a madeira e celulose, além de contribuir com a geração de emprego e renda (BACHA; BARROS, 2004; OLIVEIRA NETO; REIS; REIS, 2007).

Quando comparados com plantios agrícolas de espécies de ciclo curto, os plantios florestais apresentam como principal obstáculo a demora do retorno do capital investido na implantação do povoamento. Uma maneira de amenizar esses custos é a realização de consórcios entre essas culturas agrícolas anuais e as culturas florestais, tornando-se uma alternativa para a geração de renda a curto prazo, podendo custear, parcial ou totalmente, as despesas com a implantação do povoamento florestal (CARVALHO, 2009).

Nos últimos anos, diversas são as pesquisas realizadas com o objetivo de acompanhar o desempenho do eucalipto como a cultura florestal na composição dos SAFs. Magalhães et al. (2014), Araújo et al. (2013), Fontan et al. (2011), Müller et al. (2009) verificaram a viabilidade econômica de implantar sistemas agroflorestais com eucalipto, obtendo resultados que comprovaram a viabilidade econômica do uso do eucalipto nesse tipo de sistema.

2.6 Sistemas agroflorestais com espécies nativas

No Brasil, apesar da legislação priorizar a utilização de espécies nativas na recomposição de ambientes degradados, poucos são os trabalhos realizados com essas espécies, devido à falta de informações sobre o seu desenvolvimento

A utilização de espécies nativas melhora os aspectos socioeconômicos e ambientais, contribuindo de maneira significativa com a conservação da biodiversidade. Em todos os biomas brasileiros se pode encontrar inúmeras espécies florestais que apresentam potencial para serem utilizadas em SAFs.

Dentre as espécies nativas que apresentam grande potencial para compor um SAF se pode citar as pertencentes à família Fabaceae (Leguminosae). Essa

família possui um relevante papel econômico, no que se refere ao seu uso para exploração, e ambiental, para a recuperação de áreas degradadas, pois em determinadas condições se nota que a maioria das espécies pertencentes a essa família possui a capacidade de realizar a fixação biológica do nitrogênio, aumentando, assim, a disponibilidade desse nutriente no solo (SPRENT, 2005; HAKALA; JAUHAINEN, 2007; RODRIGUES et al., 2008).

O angico pertence à família Fabaceae, ocorre em todos os tipos e texturas de solos da Caatinga, podendo atingir 20 metros de altura. Sua madeira é bem rígida, sendo utilizada como postes, estacas para cercas, energia, entre outras utilidades. A sua casca apresenta elevada concentração de tanino, sendo relatado seu uso para fins medicinais e industriais (RIZZINI, 1995; CARVALHO, 1994; SIQUEIRA FILHO et al., 2012). Por apresentar rápida regeneração e brotações após cortes, o angico surge como uma ótima opção para cultivo em SAFs.

De acordo com Chaer et al. (2011), a realização de consórcios entre gramíneas e leguminosas arbóreas capazes de fixar N, aumenta a capacidade de recuperação e de manutenção do solo, devido a esse processo de simbiose propiciar melhores condições para o crescimento rápido dessas espécies em solos degradados.

Outra espécie nativa que também pode apresentar grande potencial para compor SAFs é a aroeira-do-sertão. A aroeira é uma espécie arbórea pertencente à família Anacardiaceae, com ocorrência natural em formações vegetais de Caatinga e Cerrado, e vem sendo muito explorada em função de suas propriedades medicinais e da excelente qualidade que a sua madeira possui para a produção moveleira (LORENZI; MATOS, 2002).

2.7 Feijoeiro em SAFs

Embora surjam como atividades atrativas aos pequenos agricultores, os plantios florestais apresentam como limitação a demora do retorno do capital investido durante a implantação do povoamento. Uma solução para esse problema é a realização de consórcios entre plantios florestais e culturas agrícolas anuais. Essa consorciação gera uma renda antecipada, sendo possível

amenizar parte dos custos obtidos nessa etapa (CECCON, 2005; MACEDO et al., 2010).

Estudos envolvendo culturas agrícolas consorciadas com espécies florestais já vêm sendo realizados há algum tempo. Entre as culturas agrícolas mais avaliadas nesses consórcios se pode citar o feijão (CECCON, 2005).

O plantio do feijão se apresenta como uma excelente opção para esse tipo de sistema, por ser tradicionalmente adotado pelos pequenos produtores, possuir ciclo curto, ser relativamente tolerante a condições de estresse hídrico e por se adaptar muito bem em condições de consórcio. Além disso, apresenta bom preço de venda, contribuindo para a geração imediata de renda para o agricultor, sendo capaz de custear, total ou parcialmente, as despesas efetuadas na fase de implantação do povoamento florestal ou na renovação de pastagens (VIEIRA, 2006).

Um dos primeiros SAFs implantados no Brasil e que utilizou o consórcio entre o feijão e uma cultura florestal foi realizado por Schreiner e Balloni (1986), no qual procuraram avaliar os efeitos do consórcio entre *Eucalyptus grandis* e feijão. O consórcio teve a duração de 35 meses, e os autores concluíram que a sobrevivência e altura dos eucaliptos não foram afetadas, sendo o volume de madeira nas áreas de consórcio superior ao das áreas de monocultivos.

Ceccon (2005), avaliando o consórcio de eucalipto com duas culturas agrícolas (arroz e feijão), concluiu que o intercalamento com feijão e arroz em pequena escala, em solos bem fertilizados, nos primeiros dois anos de cultivo com *Eucalyptus camaldulensis*, foi altamente produtivo para ambas as culturas.

Em outro trabalho realizado por Ceccon (2008), em que se buscou avaliar os rendimentos do consórcio de *Eucalyptus urophylla* com feijão e arroz, comparando com os seus respectivos rendimentos em monocultivos, ao longo de um período de dois anos, constatou-se a vantagem do consórcio em relação aos monocultivos agrícolas.

Silva et al. (2012), analisando a viabilidade econômica de plantios de candeias (*Eremanthus erythropappus*) em monocultivo e em consórcio com culturas agrícolas, observaram que os SAFs entre a candeia e as espécies agrícolas foram economicamente viáveis.

Outros autores (DUBÈ, et al., 2000; SILVA et al., 2001; SANTOS; PAIVA, 2002; SOUZA et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2014) também já avaliaram o rendimento do feijão em consorciado com espécies florestais e comprovaram a excelente capacidade produtiva dessa cultura em sistemas agroflorestais.

2.8 Adubação orgânica

Existem várias formas de destinação final dos resíduos orgânicos, entre as quais se podem citar a produção de energia e a incineração. Entretanto, o reaproveitamento desses resíduos nas atividades agrícolas, adubação de plantios agrícolas e florestais, e recuperação de áreas degradadas, vem apresentando resultados significativos, devido à melhora das características físicas, químicas e biológicas dos solos, além da diminuição dos custos durante todo o processo produtivo (MELO; MARQUES, 2000).

Nos últimos anos, o interesse na utilização de resíduos orgânicos, quando devidamente tratados, está fundamentado nas elevadas concentrações de carbono (C), compostos orgânicos (CO) e de nutrientes que esses materiais apresentam, sendo capazes de melhorar a capacidade de troca de cátions (CTC) e neutralizar a acidez dos solos (ABREU JUNIOR et al., 2005).

A adubação orgânica no cultivo florestal tem o objetivo de fornecer nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento das espécies arbóreas, tendo uma maior eficiência se a matéria orgânica for derivada de um processo de decomposição aeróbica, formando o húmus, que possui um maior efeito químico, físico e biológico no solo. Desta forma, a absorção de nutrientes será prolongada, devido ao armazenamento de água e nutrientes, criando funções biológicas que facilitam a absorção de nutrientes pelas plantas (BERNARDI; MACHADO; SILVA, 2002).

Além do húmus, existem também outros tipos de resíduos orgânicos, dos quais se pode destacar aqueles provenientes das agroindústrias, pois, devido a sua origem, podem apresentar uma menor quantidade de contaminantes. Existem, ainda, os resíduos de origem vegetal que apresentam grande potencial para serem utilizados na adubação orgânica (GUIMARÃES et al., 2002).

De acordo com Abreu Júnior et al. (2005), a utilização de resíduos provenientes de atividades agrícolas é considerada viável, observando sempre a origem e suas disposições legais, evitando a possibilidade de contaminação do solo por meio desses materiais.

Assim, a reciclagem de resíduos orgânicos é uma opção interessante do ponto de vista econômico e ambiental. Essa prática representa um benefício indiscutível para minimizar os problemas de ordem ambiental devido ao seu descarte inadequado (PIRES; MATTIAZO, 2008).

2.8.1 Sedimentos de reservatórios

Os rios são considerados os principais agentes transportadores de resíduos orgânicos (sedimentos) das áreas mais elevadas para as mais baixas. Além de sedimentos, os rios também transportam elementos como nitrogênio, fósforo e silicato, em suas formas orgânica e inorgânica, elementos esses que são fundamentais para a manutenção da produtividade biológica marinha (MEDEIROS et al., 2007).

Segundo Silva, Medeiros e Viana (2010), a construção de barragens no percurso dos rios resulta em mudanças nas condições naturais do curso d'água, alteram a capacidade de transporte e a forma do canal, fazendo com que ocorra um aumento na deposição de sedimentos no reservatório e, conseqüentemente, ocasionando o assoreamento, devido à alteração de água corrente para água parada.

Esses sedimentos são provenientes da erosão de minerais, da matéria orgânica e do solo em áreas do leito. Por possuírem elevados teores de matéria orgânica, esses sedimentos podem ser utilizados como fertilizantes agrícolas (SEDNET, 2004).

O sedimento de reservatórios pode ser utilizado na forma bruta, na forma de composto orgânico ou higienizado com cal, e os critérios para a sua utilização podem ser baseados em função de suas características, bem como, em função da cultura que será adubada e também do tipo de solo (COSTA et al., 1999).

O sedimento como fonte de matéria orgânica possui uma funcionalidade que é atribuída aos benefícios quando da sua decomposição no solo, tais como:

alta capacidade de troca catiônica (CTC), solubilização de nutrientes, fornecimento gradual de fósforo, nitrogênio e micronutrientes, melhoria da estruturação, umidade e capacidade tampão do solo, tornando-o mais resistente a erosão (COSTA et al., 1999).

Gunkel (2003), analisando as características dos sedimentos e a taxa de sedimentação de um lago tropical, localizado na região dos andes, no Equador, encontrou elevada quantidade de fósforo (4,3 g/kg de peso seco).

Em um trabalho desenvolvido no reservatório de Tucuruí, Theodoro et al. (2007) comprovaram que os sedimentos que ficam acumulados no reservatório possuem a capacidade de aumentar a fertilidade dos solos, trazendo grandes benefícios à população e, ao mesmo tempo, recuperando áreas degradadas.

Ainda sobre a utilização de sedimentos, Walter; Gunkel; Gamboa (2012) comentam sobre a importância de se fazer uma análise química do material a ser usado na adubação para fins agrícolas e florestais, evitando que ocorra a contaminação do solo por metais pesados ou outros materiais tóxicos que possam estar presentes no sedimento.

2.8.2 Resíduos de tanques de piscicultura

A piscicultura em tanques escavados é amplamente utilizada em reservatórios brasileiros. Os reservatórios presentes na bacia do rio São Francisco possuem um elevado e crescente potencial de produção, principalmente o reservatório de Itaparica (GUNKEL et al., 2015).

A atividade piscícola gera uma enorme quantidade de resíduos orgânicos que são periodicamente retirados dos tanques escavados. Geralmente esses resíduos são compostos por restos da alimentação não consumida e também pelas fezes dos peixes que vão se acumulando nos fundos dos tanques, podendo ser aproveitados como fonte de nutrientes, tornando-se mais uma alternativa de fertilizante de solo (SILVA et al., 2013).

Durante a produção de peixes, aproximadamente 20% da alimentação utilizada é desperdiçada, não sendo ingerida pelos peixes. A ração utilizada na alimentação dos peixes possui um percentual de 14,8% de nitrogênio e 11% de fósforo (GUO; LI, 2003).

Esses empreendimentos produzem significativas quantidades de fósforo total (14,8 kg/ha), nitrogênio total (40 kg/ha) e uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 152 kg por tonelada de tilápias produzida, resultando no processo de eutrofização das águas dos tanques de piscicultura (GUNKEL et al., 2013).

Visando manter o equilíbrio da quantidade de nutrientes no solo, tem-se buscado aproveitar materiais de origem biológica como biofertilizantes, capazes de fornecer de forma natural, nutrientes às culturas, com baixo custo de produção, reduzindo custos com a compra de fertilizantes químicos (ROSA, 1998).

Neste sentido, Silva et al. (2013), em um trabalho desenvolvido em uma área próxima ao reservatório de Itaparica, no município de Itacuruba-PE, buscaram comparar as concentrações de nutrientes entre os resíduos de tanques de piscicultura e os esterco de origem animal (bovino, aves e suíno), e concluíram que os resíduos de piscicultura apresentaram maiores teores de nutrientes como o K, Mg, N e P em relação aos demais esterco avaliados.

Os mesmos autores destacaram ainda outra importante característica do resíduo de tanque de piscicultura, o elevado valor da relação C/N, indicando que esse resíduo apresenta uma alta capacidade de mineralização, aumentando a velocidade com que os nutrientes ficam disponíveis para serem absorvidos pelas plantas.

2.8.3 Biocarvão

A utilização de resíduos orgânicos carbonizados vem sendo avaliada como uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo. Esses resíduos têm a sua origem no processo da decomposição térmica de material orgânico em condições restritas da presença de oxigênio, com a presença de calor, tendo como produto final, o material conhecido como biocarvão (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

O biocarvão tem apresentado efeitos positivos nas propriedades químicas e físicas do solo, vindo a incrementar a produção de biomassa e o rendimento de diversos cultivos, modificando a capacidade de armazenamento de água no

solo, por meio de sua natureza frequentemente porosa, reflexo das estruturas celulares da matéria prima da qual é normalmente produzido. Também apresenta cinzas, que são fontes de P, K e outros elementos, que podem ser mais solúveis e acessíveis nos biocarvões que na matéria prima não-pirolisada (SOHI et al., 2010; PETTER et al., 2012).

Warnock et al. (2007) relataram que a adição de diferentes tipos de biocarvão no solo pode alterar a disponibilidade de nutrientes, pois são capazes de modificar as propriedades físico-químicas do solo, além de apresentarem um efeito positivo no aumento da incidência de fungos micorrízicos, demonstrando que tais fungos respondem de forma significativa à aplicação de biocarvão no solo.

Em relação à utilização do biocarvão na agricultura, têm-se encontrado resultados significativos para os ganhos em produtividade. Jeffery et al. (2011), ao realizarem uma revisão com mais de 50 trabalhos que relatam o uso do biocarvão, concluíram que houve aumento, em média, de 10% na produtividade agrícola, podendo variar entre -28 a 39% na produtividade média, dependendo da cultura avaliada.

Solla-Gullon et al. (2006), avaliando o crescimento de um povoamento de coníferas da espécie *Pseudotsuga menziesii* aos cinco anos de idade, observaram que a aplicação de biocarvão contribuiu positivamente no crescimento em altura do povoamento, com um ganho percentual que variou de 5,4 e 18%, quando comparados ao tratamento controle.

Em trabalho realizado com a aplicação de uma mistura de biocarvão e cinzas em um povoamento de *Pinus radiata* com 25 anos de idade, Santalla et al. (2011) observaram que após quatro anos da aplicação, a mistura proporcionou maiores incrementos de altura e diâmetro quando comparado ao tratamento controle.

Avaliando a aplicação de uma mistura de biocarvão e cinzas em um povoamento de *Pinus radiata*, com idade de 13 anos, implantado sobre dois tipos de solo, Omil; Piñeiro; Merino (2013) obtiveram respostas significativas para o crescimento em altura, diâmetro e volume, sendo que esse crescimento foi maior após dois anos da aplicação da mistura.

Plunchon et al. (2014), avaliando o crescimento de mudas de quatro espécies florestais produzidas em solos adubados com nove tipos de biocarvão produzidos a partir de material de coníferas e de folhosas, concluíram que a adição dos diferentes biocarvões no solo apresentou resultados significativos no crescimento em altura das mudas das espécies florestais avaliadas. Tais autores concluíram ainda que os biocarvões provenientes das Angiospermas obtiveram um maior crescimento das mudas em relação aos biocarvões provenientes de Gimnospermas.

2.9 Rentabilidade econômica de um SAF

A análise econômica é essencial ao planejamento e à execução de atividades florestais, permitindo que sejam tomadas decisões a respeito da sua viabilidade econômica. Este tipo de análise requer o estabelecimento de alguns critérios e a utilização de técnicas capazes de comparar os custos e as receitas relacionados ao projeto, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão sobre a implementação ou não da atividade que está sendo analisada (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Ultimamente, tem-se buscado avaliar economicamente a produtividade de novos sistemas de cultivos que sejam mais eficientes e que considerem a prática de diferentes atividades e utilização de diferentes culturas (florestais e agrícolas) e que possam conciliar a produtividade e a rentabilidade econômica. Dentre esses novos sistemas de cultivo, o SAF ganha destaque. Esse tipo de sistema se apresenta como alternativa de produção, equilibrando a oferta de produtos florestais e agrícolas (MAGALHÃES, et al., 2014).

Do ponto de vista econômico, ao combinar culturas agrícolas e florestais, os riscos do investimento são reduzidos quando comparados aos riscos de investimento em uma monocultura. Diversificar a produção é uma estratégia para minimizar a susceptibilidade da atividade a fatores como, por exemplo, as constantes variações dos preços de mercado, entre outros fatores (RAMÍREZ et al., 2001).

Em relação aos riscos de investimento entre o SAF e os tradicionais sistemas de produção agrícola, Varella e Santana (2009) analisaram os

principais fatores envolvidos no processo de produção desses dois tipos de sistemas e concluíram que os SAFs apresentaram menor risco quando comparados ao sistema tradicional.

Em se tratando dos custos envolvendo a implantação de um SAF, Thompson e George (2009) sugerem eliminar da análise econômica aqueles custos ocorridos anteriormente à decisão sobre a instalação do projeto. Segundo esses autores, podem ser incluídos os custos variáveis (aqueles que variam com a produção): custos envolvidos na implantação, manutenção, colheita entre outros; os custos com a administração ou com outros trabalhos na propriedade, que estão envolvidos indiretamente na atividade agroflorestal; os custos envolvidos com a arrendamentos ou compras de terras, além do custo de capital, referente ao que se deixa de ganhar por não adotar outra alternativa de investimento, como investimentos bancários que envolvem taxas de juros.

Para a avaliação econômica de um SAF é necessário definir os indicadores econômicos que comprovarão se a atividade é rentável ou não. Dentre os principais indicadores podem-se citar: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e a relação B/C (Benefício/Custo) (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Pesquisas com SAFs envolvendo esses indicadores econômicos já vêm sendo realizadas por diversos autores. Santos (2002) verificou a viabilidade econômica de um SAF com cinco espécies agrícolas e duas espécies florestais. Os resultados obtidos mostraram que esses sistemas são economicamente viáveis, podendo ser utilizados como uma fonte de renda extra para os pequenos agricultores.

Bentes-Gama et al. (2005) realizaram análise econômica de três SAFs e cinco monocultivos e verificaram que ambos os sistemas apresentaram um ótimo desempenho econômico, apresentando VPL positivo para todos os sistemas avaliados.

Avaliando a rotação econômica de plantios de eucaliptos em consórcio com culturas agrícolas e pastagens, Souza et al. (2007) identificaram que à medida em que se agregou valor aos produtos florestais, ocorreu um aumento significativo na viabilidade econômica do SAF. Verificaram também que para aquela situação a viabilidade econômica do SAF dependeu mais da atividade

florestal e da pecuária (pastagem) do que dos produtos agrícolas, apesar de todas as atividades relacionadas apresentarem VPL positivos.

Rodrigues et al. (2007), em uma pesquisa realizada cujo objetivo era a restauração de uma reserva legal em função da utilização de módulos agroflorestais, avaliaram dois indicadores econômicos: o VPL e a relação Benefício/Custo (B/C). Os resultados para os indicadores foram positivos, ou seja, a atividade se mostrou rentável para aquele objetivo, mostrando que os SAFs podem ser adotados para a recuperação de áreas de reserva legal.

Müller et al. (2011), avaliando a viabilidade econômica de um sistema agrossilvipastoril, usando como critérios de avaliação econômica o VPL e a Taxa Interna de Retorno (TIR), concluíram que a valoração do produto florestal aumentou a atratividade do sistema, sendo que a atividade agrícola não foi viável economicamente, enquanto a silvicultura e a atividade pecuária foram independentemente viáveis.

Em uma revisão sobre as principais metodologias para avaliação econômica de SAFs, Cosenza et al. (2016) relataram que a escolha dos métodos de análise econômica fica a cargo do analista do projeto, que escolherá quais os indicadores que melhor se ajustam à realidade da atividade, deixando claro que quanto maior for a quantia investida, mais bem criteriosa deve ser a análise financeira.

Bentes-Gama (2005), avaliando a viabilidade de diferentes sistemas agroflorestais, relata que ao se realizar trabalhos em condições sob as quais possam sofrer mudanças, pode levar ao surgimento de incertezas sobre a viabilidade do trabalho. Os sistemas agroflorestais podem apresentar riscos e incertezas como quaisquer outras atividades agrícolas e florestais.

Diante disso, este trabalho se reveste de importância como uma alternativa de plantio, pelo fato da não existência de SAFs consorciando espécies nativas (angico e aroeira) e clones de eucaliptos com o feijão-caupi que é uma cultura amplamente explorada na região.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição da área de estudo

O experimento foi implantado no ano de 2014, na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), no município de Belém de São Francisco, na Microrregião de Itaparica, estado de Pernambuco. A cidade se localiza a uma latitude 08°45'28" Sul e longitude 38°57'52" Oeste, com altitude média de 305 metros (CPRM, 2005).

O clima prevalecente em Belém de São Francisco é conhecido como um clima de estepe local. Em Belém de São Francisco o ano tem pouca pluviosidade. O clima é o semiárido (BSh') de acordo com a classificação de Köppen e Geiger. A temperatura média anual em Belém de São Francisco é 24,7 °C, com uma pluviosidade média anual de 507 mm (MENEZES et al., 2007).

A vegetação predominante no município de Belém de São Francisco é a do tipo savana estépica florestada, com a ocorrência de plantas de estrato arbóreo e arbustivo (IBGE, 1992). Os tipos de solo que ocorrem na região são classificados como Bruno Não Cálcicos, Planossolos e manchas de Neossolos Flúvicos que ocorrem nas margens do rio, córregos e nas ilhas fluviais (EMBRAPA, 2016).

3.2 Análises físicas e químicas do solo da área em estudo

Foram coletadas de forma aleatórias, amostras de solo em três profundidades (0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm) antes da instalação do experimento, para que fossem realizadas as caracterizações química e física do solo. As análises foram realizadas nos laboratórios do Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, seguindo as normas descritas nos manuais de métodos de análise de solo e de práticas laboratoriais (EMBRAPA, 1997; SOUZA et al., 2013; LEMOS DA SILVA, et al., 2013).

Nas Tabelas 1 e 2 constam os resultados das análises física e química, respectivamente, do solo da área onde foi instalado o experimento.

Tabela 1 - Características físicas do solo da área do experimento instalado na Estação do IPA, Belém de São Francisco, PE

Profundidade (cm)	Densidade (g/cm ³)		Granulometria (%)				Argila natural	Grau de floculação	Classe textural
	Dap	Dp	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
0 – 30	1,57	2,61	2,78	58,83	26,13	12,26	4,78	62,26	FA
30 – 60	1,58	2,61	2,96	57,30	25,61	14,13	6,00	60,57	FA
60 – 90	1,59	2,61	2,96	58,96	23,13	14,96	6,43	57,96	FA

Em que: Dap = densidade aparente; Dp = densidade de partículas; FA = Franco Arenoso

Fonte – SANTOS, 2016.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área do experimento instalado na Estação do IPA, Belém de São Francisco, PE

Profundidade (cm)	P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	SB	CTC	V	m
	mg/dm ³	H ₂ O						cmolc/dm ³			%	
0 – 30	51,00	5,82	4,04	0,95	0,09	0,49	0,06	1,51	5,60	7,10	75,4	1,50
30 – 60	37,73	6,04	4,31	0,94	0,11	0,23	0,05	0,94	4,80	5,70	75,5	0,80
60 – 90	37,64	6,29	4,78	1,10	0,20	0,19	0,01	0,76	5,40	6,20	79,5	0,30

Em que: P = fósforo; pH= potencial de hidrogênio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; Al = alumínio; H = hidrogênio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio.

Fonte – SANTOS, 2016.

O solo da área em que se instalou o experimento foi classificado como franco arenoso nas três profundidades avaliadas, composto por aproximadamente 60% de areia fina. Na análise química, o pH apresentou valores entre 5,5 e 6,5, valores que estão dentro da faixa ideal para as plantas.

3.3 Análises químicas das fontes de nutrientes e do biocarvão

Foram coletadas amostras das fontes de nutrientes e do biocarvão para que fosse realizada a análise química. Nas análises foram avaliados o teor de matéria orgânica, o valor do pH, e os teores de nitrogênio, potássio, magnésio, sódio e cálcio. Todas as amostras foram enviadas para análises no Laboratório de Análises Ambientais (AGROLAB) com sede na cidade de Recife-PE. (Anexos 1 a 6).

3.4 Instalação do experimento

Foram avaliadas duas fontes de nutrientes: sedimento do reservatório e resíduos de tanques de peixes. Foi avaliado também, o biocarvão como

condicionador de solo, além do controle ou testemunha (sem adubação). Todos esses materiais foram aplicados na base de 0,5 kg/planta.

Foram realizadas duas adubações no experimento: a primeira, durante a instalação do experimento e a segunda foi realizada após 12 meses da realização do plantio.

Os sedimentos do reservatório foram coletados em áreas próximas ao reservatório de Itaparica. Os resíduos de tanques de piscicultura foram coletados no município de Itacuruba – PE. O biocarvão utilizado foi proveniente do processo de carbonização da biomassa da espécie florestal Algaroba (*Prosopis juliflora* SW DC.), produzido na própria região.

Foram avaliados o crescimento em altura de quatro culturas florestais em função das duas fontes de nutrientes e de um condicionador de solo. Sendo elas: angico (*Anadenanthera columbrina*), aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva*) e eucalipto (dois clones - MA 2000 e MA 2001).

Os clones de eucalipto foram provenientes de polinização controlada entre as espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* que foram cedidos pela empresa florestal Suzano Papel e Celulose. As mudas de aroeira-do-sertão e angico foram doadas pela empresa CHESF, provenientes do seu viveiro florestal, localizado no município de Xingó-AL.

As culturas florestais foram plantadas no mês de março de 2014. Durante o plantio, as mudas dos clones de eucalipto possuíam o mesmo tamanho, pois foram produzidas em uma mesma época. As mudas das espécies nativas, principalmente as da espécie aroeira, apresentavam diferentes tamanhos, já que haviam sido produzidas em épocas diferentes.

As culturas agrícolas tiveram o seu plantio realizado a partir do mês de setembro de 2014, ou seja, seis meses após o plantio das espécies florestais.

Os espaçamentos utilizados para o plantio das culturas florestais foram: 3 m x 2 m e o 4 m x 2 m, sendo esse último utilizado na forma de consórcio e em monocultivo.

Cada cultura florestal avaliada foi distribuída em 192 parcelas, contendo os quatro tratamentos (adubações e testemunha), com quatro repetições, distribuídas nos três espaçamentos: 3 m x 2 m (64 parcelas), 4 m x 2 m em monocultivo (64 parcelas) e o 4 m x 2 m consorciado com o feijão-caupi (64

parcelas). Cada parcela possuía 28 plantas, das quais 10 plantas ocupavam a área útil.

Todo o experimento foi irrigado por aspersão, uma hora por dia, três vezes por semana, durante a época da estação seca, com aspersores distanciados 12 m entre si.

3.5 Caracterização do SAF

No SAF foi avaliada a cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), plantada nas entrelinhas dos plantios florestais com espaçamento 4 m x 2 m (Figura 2).

A variedade de feijão-caupi utilizada foi o “Miranda - IPA 207” em oito das nove safras, sendo que na sexta safra foi utilizada a variedade “BRS Tumucumaque”, ambas semeadas no espaçamento de 0,80 m x 0,30 m, com três sementes por cova, nas entrelinhas da área útil de cada parcela das culturas florestais. Cada parcela de feijão-caupi em consórcio e em monocultivo teve área total de 32 m². O plantio do feijão-caupi consorciado foi feito mantendo uma distância mínima de 1,0 m das linhas centrais das culturas florestais. O tempo de duração de cada safra foi de 80 a 90 dias, tendo um período de 30 dias de pousio entre cada safra.

Na adubação do feijoeiro, utilizaram-se as mesmas fontes de nutrientes e o condicionador de solos. A quantidade aplicada foi 150 g por cova.

O manejo das plantas daninhas na cultura do feijão-caupi foi realizado manualmente, por meio de capinas quinzenais, após o surgimento das plântulas do feijão-caupi. O manejo de pragas foi feito quimicamente, por meio da aplicação do inseticida KLORPAN 480 EC. A aplicação do inseticida foi iniciada 25 dias após a emergência (DAE) do feijão-caupi e a cada 15 dias, em ambas as safras avaliadas.

Ao final de cada safra, realizou-se a colheita do feijão-caupi, manualmente, para posterior batedura, separação e limpeza dos grãos. O rendimento de grãos de feijão-caupi foi apurado pela pesagem da produção da área útil da parcela.

Entre a sétima e a oitava safra foi realizada a desrama de todas as espécies florestais até a altura de 5 m, com o intuito de aumentar a entrada de luz no sistema agroflorestal.

3.6 Coleta dos dados

O crescimento das espécies arbóreas em altura foi avaliado durante o período de 36 meses de estabelecimento dos tratamentos, utilizando os dados dos indivíduos que faziam parte da área útil de cada parcela.

Os instrumentos utilizados para as medições dos dados dendrométricos foram: régua metálica e hipsômetro para a medição das alturas e, fita métrica para a medição das circunferências para o cálculo das estimativas dos volumes das árvores.

Foram mensuradas as alturas de todas as árvores a cada três meses, até os 15 meses, sendo a partir desse período, realizadas mensurações de altura e CAP a cada seis meses, totalizando 36 meses. A taxa de mortalidade dos indivíduos foi contabilizada para a realização do replantio. Os diâmetros das espécies florestais a 1,30 m do solo (DAP) foram mensurados a partir do momento em que as mesmas apresentaram DAP superior a três centímetros, que foi considerado como critério de inclusão.

3.7 Análise estatística

Foi aplicado o teste de esfericidade de Mauchly (MAUCHLY, 1940) para os dados de altura das culturas florestais, ao longo dos 36 meses, para verificar a violação ou não das condições de variâncias iguais e de correlações nulas, para decidir se a análise estatística a ser aplicada seria a multivariada com medidas repetidas ou em parcelas subdivididas no tempo.

As hipóteses testadas ao nível de 95% de probabilidade foram:

H_{01} = não existem diferenças significativas entre os tratamentos (hipótese de perfis coincidentes);

H_{02} = existe semelhança do efeito tempo (perfis horizontais);

H_{03} = não existe interação tempo x tratamentos (perfis paralelos).

Este tipo de análise estatística permite verificar como os tratamentos mudam ao longo do tempo nas unidades experimentais e comparar as mudanças entre os grupos estudados (NEMEC, 1996).

Quando foram verificadas diferenças significativas das interações tempo x espécies; tempo x fontes de nutrientes; tempo x espaçamentos e tempo x espécies x fontes de nutrientes x espaçamentos, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando a ferramenta de análise estatística SAS, versão 9.0, usando o comando "REPEATED", da ANOVA e GLM (SAS INSTITUTE, 2002).

3.8 Determinação do fator de forma e volume das árvores

O fator de forma das árvores foi calculado pela razão entre o volume real com casca e o volume cilíndrico.

Os volumes reais das árvores de eucaliptos foram obtidos por meio de cubagem rigorosa aplicando a fórmula de Smalian. Os volumes cilíndricos foram calculados pela multiplicação da área basal pela altura total (H).

Os diâmetros foram mensurados nos seguintes comprimentos: 0,30 m; 1,30 m; e, em seguida, de 1 m em 1 m até a ponta da árvore. O toco foi excluído do cálculo do volume. Os diâmetros do tronco com casca de cada árvore derrubada, foram mensurados com precisão de centímetros com auxílio de uma suta diamétrica.

Para a realização da cubagem, foram escolhidas aleatoriamente duas árvores nas bordas de cada tratamento, totalizando 176 árvores cortadas. No caso específico, essas árvores de borda não foram beneficiadas em termos de crescimento porque estavam em parcelas vizinhas, isto é, sem distanciamento extra entre elas.

3.9 Avaliação do rendimento da cultura agrícola no SAF

Na avaliação do SAF foi considerada a metodologia proposta por Morgado e Rao (1986), baseada na avaliação de índices de escala neutra como o Uso Eficiente de Terra (UET) e Uso Eficiente da Terra/Tempo (UET/T).

$$UET = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{Y_{ii}} \quad (1)$$

Em que: Y_i = rendimento da cultura em consórcio, kg/ha; Y_{ii} = rendimento da cultura isolada, kg/ha.

Segundo Morgado e Rao (1986), um consórcio é considerado mais produtivo que um monocultivo sempre que o $UET > 1$, indicando que é possível que ocorra um aumento substancial na eficiência do uso da terra.

3.10 Análise da viabilidade econômica do sistema agroflorestal

A análise da viabilidade econômica foi realizada com o objetivo de verificar se as rendas obtidas pelos produtos do SAF e nos monocultivos foram suficientes para amenizar o capital investido na implantação do projeto.

Na estimativa da receita dos produtos madeireiros (lenha e estacas) extraídos do SAF e do plantio em monocultivo, levou-se em conta o preço médio adotado na região, sendo verificado o valor de venda da estaca de R\$ 5,00/unidade e a lenha do eucalipto a R\$ 140,00 m³. Em relação às receitas oriundas da produção do feijão-caupi, foi considerado o valor de venda do produto aplicado no mercado local durante a época da colheita. Os valores reais praticados na região, foram considerados sazonais, pois dependem de outros fatores, como por exemplo chuvas, oferta e demanda.

Foram considerados todos os custos com a implantação dos plantios e as receitas simuladas com a venda de lenha e estacas.

Todos os valores de custos e receitas apresentados foram estimados por hectare. O valor referente ao item “implantação”, está relacionado com os custos de aquisição de mudas, preparo do solo e tratamentos culturais.

Na avaliação econômica do SAF foi realizada uma simulação da produção de produtos madeireiros (lenha e estacas) extraídos dos clones de eucalipto para os três sistemas: os clones plantados em monocultivo no espaçamento 3 m x 2

m, em monocultivo no espaçamento 4 m x 2 m e os clones consorciados no espaçamento 4 m x 2 m com o feijão-caupi, a partir dos 18 meses de idade do plantio, embora o ciclo de corte dessa espécie seja mais longo, pois será determinado o ponto de colheita quando houver o cruzamento de incremento médio anual (IMA) em altura com o incremento corrente anual (ICA).

Para a simulação da produção de lenha e estacas na idade de 18 a 36 meses, consideraram-se as árvores com DAP entre 4 cm e 6 cm. Para cada árvore que estivesse dentro desse critério, foi considerada a produção de uma estaca no tamanho padrão de 2,5 m e o restante foi considerado como lenha.

As espécies nativas angico e aroeira foram desconsideradas da análise financeira por não terem atingido o porte necessário para a exploração.

A taxa de juro utilizada para a realização dos parâmetros da análise financeira foi 8% a.a., tendo como referência a taxa de juros da poupança de 8,25% a.a.

O tempo de duração do plantio do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais foi de 3 anos, sendo que, a cada ano foram realizados três plantios do feijão-caupi, cada um com duração de 90 dias (três meses). Após a colheita, a área trabalhada era deixada em pousio durante um período de 30 dias.

A análise financeira do sistema agroflorestal se baseou nos seguintes indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Razão Benefício/Custo (R/C).

3.10.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto pode ser definido como o somatório dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-n} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-n} \quad (3)$$

ou

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-n} - C_0 \quad (4)$$

Em que: C_j = custo no final do ano j ou do período de tempo considerado; R_j = receita no final do ano j ou do período de tempo considerado; C_0 = custo inicial do investimento; i = taxa de desconto; e n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

A fórmula 4 é usada em situações nas quais os custos só ocorrem no ano ou período de tempo zero, enquanto a fórmula 3 é de aplicação mais geral (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Um valor positivo para VPL significa que o projeto é economicamente viável, de acordo com uma determinada taxa de juros.

3.10.2 Valor Anual Equivalente (VAE)

O Valor Anual Equivalente (VAE) é um método que busca encontrar uma parcela anual equivalente necessária ao pagamento de mesmo valor ao VPL ao longo do período de duração do projeto, transformando o atual valor do projeto em fluxo de receitas ou custos periódicos constantes (SILVA; FONTES, 2005).

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (5)$$

Em que: VPL= Valor Presente Líquido; n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo; i = taxa de desconto.

O projeto é viável economicamente se o VAE apresentar valor positivo, indicando que as receitas ao longo do período são maiores que os custos no mesmo espaço de tempo.

3.10.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de um projeto é a taxa de retorno do capital investido, tendo a propriedade de ser a taxa de desconto que se iguala

ao valor atual das receitas (futuras), ao valor atual dos custos (futuros) do projeto, ou ainda, pode ser entendida como a taxa média de crescimento de um investimento (REZENDE; OLIVEIRA, 2001; SILVA; JACOVINE; VALVERDE, 2002).

$$\sum_{j=0}^n A_j(1 + I)^{-j} = 0 \quad \text{e} \quad \sum_{j=0}^n R_j(1 + I)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1 + I)^{-j} = 0 \quad (6)$$

Em que: A_j = receita líquida no final do ano j , em que $A_j = R_j - C_j$; R_j = receita no final do ano j ; C_j = custo no final do ano j ; n = duração do projeto, em anos.

Um projeto é considerado economicamente viável se sua TIR for maior que uma taxa de desconto correspondente à taxa de remuneração alternativa do capital.

3.10.4 Razão Benefício/Custo (B/C)

Este método consiste em determinar a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, para dada taxa de desconto (REZENDE; OLIVEIRA, 2001). Um projeto é considerado economicamente viável se a razão B/C for maior que um, sendo que quanto maior for o valor, mais viável economicamente é o projeto.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^n R_j(1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j(1 + i)^{-j}} \quad (7)$$

Em que: R_j = receita no final do período j ; C_j = custo no final do período j ; i = taxa de juros; e n = duração do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sobrevivências das espécies florestais

As taxas de sobrevivência das espécies após seis meses foram entre 64% e 86% (Tabela 3).

Tabela 3 - Taxa de sobrevivência (%) das espécies usadas no plantio dos sistemas agroflorestais e em monocultivo em uma área experimental instalada na Estação Experimental do IPA, no município de Belém do São Francisco, PE.

Espécies	Sobrevivência (%) 36 meses
Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)	85,8
Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	85,1
Clone de eucalipto MA 2001	80,7
Clone de eucalipto MA 2000	64,5

Observa-se que as espécies nativas Angico e Aroeira apresentaram maiores taxas de sobrevivência, pois são endógenas e altamente adaptadas às condições ambientais locais. Os clones de eucalipto apresentaram taxas de sobrevivência mais baixas, 64% para o clone MA 2000 e 81% para o clone MA 2001.

O alto valor da taxa de mortalidade para o clone MA 2000, foi devido a uma área que com o passar do tempo, tornou-se salinizada, dificultando assim o desenvolvimento dos indivíduos deste clone.

4.2 Crescimento em altura das espécies florestais

De acordo com os resultados do teste de Mauchly (Tabela 4), a hipótese da não dependência entre as medidas (esfericidade) foi rejeitada ($p < 0,05$), comprovando que o conjunto de dados da pesquisa, deve ser analisado por meio da análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo e não como parcelas subdivididas no tempo.

Tabela 4 - Teste de esfericidade de Mauchly para o crescimento médio em altura (m) das quatro espécies florestais cultivadas na Estação Experimental do IPA, em Belém do São Francisco - PE

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr > χ^2
Variáveis transformadas	44	5,871 e ⁻¹²	53242,648	<0,0001
Componentes ortogonais	44	2,255 e ⁻⁷	31509,169	<0,0001

Nas Tabelas 5 e 6 estão representados os resultados das análises de variância para os fatores espécies, fontes de nutrientes, espaçamentos e suas interações e para os fatores tempo, espécies, fontes de nutrientes, espaçamentos e as suas respectivas interações.

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) dos fatores e suas interações no crescimento em altura das quatro espécies florestais aos 36 meses de idade

Variáveis	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécies	3	19532,04	6510,68	2874,90	<0,0001
Fontes de nutrientes	3	88,19	29,39	12,98	<0,0001
Espaçamentos	1	943,17	943,17	416,47	<0,0001
Espécies x F. nutrientes	9	338,25	37,58	16,60	<0,0001
Espécies x Espaçamentos	3	1736,45	578,81	255,59	<0,0001
F. nutrientes x Espaçamentos	3	82,93	27,64	12,21	<0,0001
Espécies x F. nutrientes x Espaçamentos	9	310,19	34,46	15,22	<0,0001
Resíduo	2062	4669,73	2,26		
TOTAL	2093	27700,95			

Realizada a análise de variância foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias de crescimento em altura para todos os fatores analisados e as suas interações, indicando que as culturas florestais avaliadas, apresentaram diferentes taxas de crescimento entre si.

O efeito significativo do fator fonte de nutriente está relacionado aos seus diferentes valores nutricionais, as quais apresentam composições químicas diferenciadas.

Em relação ao fator espaçamento, o seu efeito significativo para o crescimento médio em altura das culturas florestais é atribuído à competição entre os indivíduos arbóreos por luz e outros recursos.

Observa-se também que na análise de variância para o efeito tempo todos os fatores e as interações apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$),

indicando que existe dependência entre o crescimento em altura das culturas florestais ao longo do tempo.

Tabela 6 - Análise de variância (MANOVA) para os fatores tempo, espécies, fontes de nutrientes e espaçamento aos 36 meses de idade

Variáveis	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	9	50764,07	5640,45	6841,58	<0,0001
Tempo x Espécies	27	14302,92	529,74	642,54	<0,0001
Tempo x Fontes nutrientes	27	150,16	5,56	6,75	<0,0001
Tempo x Espaçamentos	9	506,77	56,31	68,30	<0,0001
Tempo x Espécies x Fontes nutrientes	81	596,52	7,36	8,93	<0,0001
Tempo x Espécies x Espaçamentos	27	1063,55	39,39	47,78	<0,0001
Tempo x Fontes nutrientes x Espaçamentos	27	197,42	7,31	8,87	<0,0001
Tempo x Espécies x Fontes nutrientes x Espaçamentos	81	872,21	10,77	13,06	<0,0001
Resíduo	18558	15299,90	0,82		
TOTAL	18846	803603,36			

Diante destes resultados, rejeitou-se a hipótese de nulidade e aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey, com o objetivo de identificar as diferenças significativas entre os efeitos estudados. As médias em alturas das diferentes espécies florestais revelaram diferenças significativas ao nível 5% de significância, conforme constam na Tabela 7.

Tabela 7 - Teste de Tukey para crescimento médio em altura para as espécies florestais aos 36 meses de idade

Espécies	Ht (m) 0 mês	Espécies	Ht (m) 3 meses	Espécies	Ht (m) 6 meses	Espécies	Ht (m) 9 meses	Espécies	Ht (m) 12 meses
2	0,57 a	3	0,67 a	3	0,90 a	3	1,71 a	3	2,96 a
1	0,22 b	2	0,67 a	4	0,80 b	4	1,39 b	4	2,41 b
3	0,18 c	4	0,56 b	2	0,73 c	2	0,82 c	1	1,19 c
4	0,18 c	1	0,38 c	1	0,53 d	1	0,75 d	2	0,97 d
Espécies	Ht (m) 15 meses	Espécies	Ht (m) 18 meses	Espécies	Ht (m) 24 meses	Espécies	Ht (m) 30 meses	Espécies	Ht (m) 36 meses
3	4,11 a	3	5,34 a	3	6,44 a	3	7,10 a	3	7,62 a
4	3,30 b	4	4,20 b	4	5,72 b	4	6,49 b	4	7,54 a
1	1,63 c	1	2,11 c	1	2,88 c	1	3,42 c	1	3,75 b
2	1,18 d	2	1,37 d	2	1,59 d	2	1,67 d	2	2,02 c

* Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
Espécies: 1 = Angico; 2 = Aroeira; 3 = clone MA 2001; 4 = clone MA 2000; Ht = Altura média.

Realizado o teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de significância, verificou-se que a espécie florestal (3) Clone MA 2001 apresentou o maior crescimento em altura quando comparada com as demais espécies para todas as idades avaliadas, exceto a primeira idade (0 mês).

A idade zero (0 mês) indica o período em que foi realizado o plantio das mudas das espécies florestais, idade essa em que todas as mudas após serem plantadas tiveram as suas alturas mensuradas. Vale ressaltar que para essa idade, as mudas dos clones de eucalipto e do angico e aroeira apresentavam diferentes tamanhos devido ao período em que foram produzidas.

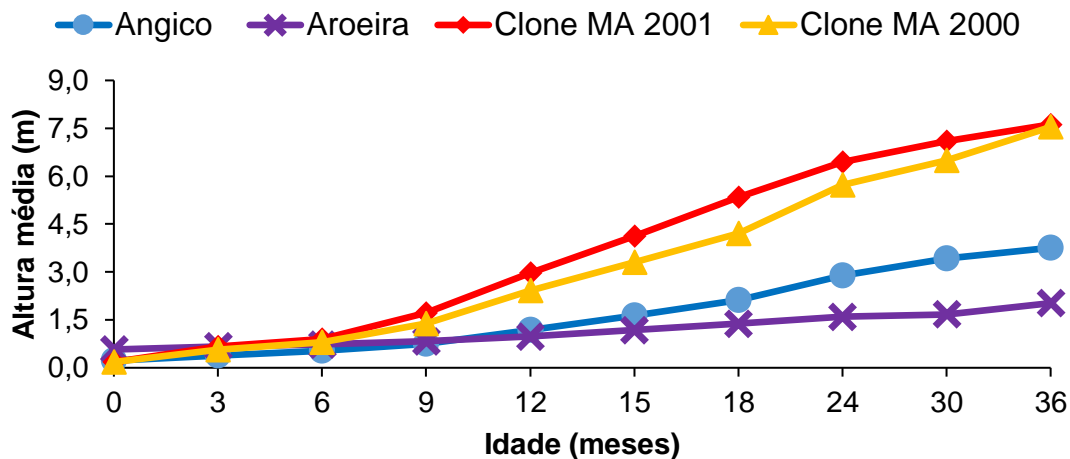
Verifica-se que em todas as idades avaliadas, os clones de eucalipto MA 2001 (3) e MA 2000 (4) apresentaram maior crescimento médio em altura ao longo dos 36 meses quando comparados com o crescimento das espécies nativas angico (1) e aroeira (2).

Tal fato já era esperado, pois, mesmo possuindo maior adaptabilidade às condições climáticas da região, as espécies nativas não possuem as características morfológicas e fisiológicas de rápido crescimento dos clones de eucalipto.

Almeida e Soares (2003) compararam o crescimento de um plantio de eucaliptos com um sistema de floresta nativa e concluíram que o plantio de eucalipto exerceu maior eficiência no controle estomático em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

A Figura 2 representa o comportamento do crescimento médio em altura das quatro culturas florestais avaliadas.

Figura 1 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das culturas florestais que compõem o sistema agroflorestal.



Fonte – Elaborado pelo autor.

Aos 36 meses os clones de eucalipto MA 2001 e MA 2000 apresentaram alturas médias de 7,62 m e 7,54 m, respectivamente.

Oliveira et al. (2009) avaliaram o desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto no cerrado, sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril, obtendo valores médios para as alturas aos 38 meses de 13,63 m a 15,72 m, para os arranjos de 3 m x 3 m e 3 m x 3,33 m, respectivamente. Esses valores são bem superiores aos encontrados nesta pesquisa. Vale salientar que no trabalho realizado por Oliveira et al. (2009), além das condições climáticas que eram bem diferente em relação a região onde foi desenvolvida esta pesquisa.

Já em relação ao crescimento médio em altura das espécies angico e aroeira, obteve-se uma média aos 36 meses de 3,75 m e 2,02 m, respectivamente.

Bertoni e Dickfeldt (2007) avaliaram o desenvolvimento da aroeira plantada em áreas alteradas de fragmentos florestais com espaçamento de 3 m x 2 m e verificaram que quatro anos após o plantio (48 meses) as mudas apresentavam uma altura média de 2,65 m. No caso desta pesquisa, aos 36 meses a aroeira apresentou um crescimento médio em altura de 2,02 m, valor este um pouco abaixo do que foi encontrado pelos autores supracitados.

Entretanto, calculado os incrementos médios mensais (IMM) em altura, encontram-se valores de 5,5 cm e 5,6 cm, respectivamente, indicando que os crescimentos são semelhantes.

Contudo, esses resultados reforçam a importância da utilização do eucalipto em sistemas agroflorestais, em função do seu rápido crescimento e da arquitetura da sua copa, que, segundo Neto et al. (2014), eleva a eficiência do uso do espaço apropriado aos consórcios com culturas agrícolas.

4.3 Efeito das fontes de nutrientes e do condicionador de solo no crescimento em altura das espécies florestais

Na Tabela 8, pode-se verificar quais fontes de nutrientes proporcionaram uma reposta significativa quanto aos seus efeitos no crescimento em altura das espécies florestais ao longo do tempo.

De acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, verificou-se que o resíduo de tanque de piscicultura (1) e sedimentos do reservatório de Itaparica (2) não diferiram entre si estatisticamente, proporcionando as melhores condições para o crescimento médio em altura para as espécies florestais.

É possível verificar também que após o período de 12 meses, quando se realizou uma nova adubação, o sedimento do reservatório de Itaparica passou a proporcionar as melhores condições de crescimento para as culturas florestais. Isto pode ser explicado pelo fato de que, antes da segunda adubação houve a ocorrência de chuvas na região do experimento, fazendo com que fossem transportados para as margens do reservatório, nutrientes e matéria orgânica, enriquecendo, assim, o material colhido do sedimento de reservatório que foi utilizado na segunda adubação.

Tal afirmação foi baseada nas análises químicas das fontes nutricionais (Apêndice 3 e 4) que mostraram um acréscimo do teor de matéria orgânica para sedimento do lago (62,78 g/kg e 63,79 g/kg).

Tabela 8 - Teste de Tukey para crescimento médio em altura das espécies florestais aos 36 meses de idade, em função das fontes de adubação e do condicionador de solo

Fontes de nutrientes	Ht (m) 0 mês	Fontes de nutrientes	Ht (m) 3 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 6 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 9 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 12 meses
1	0,31 a	1	0,59 a	1	0,75 a	1	1,18 a	1	1,87 a
2	0,30 ab	2	0,56 ab	2	0,73 ab	2	1,14 ab	2	1,84 a
3	0,29 b	3	0,56 ab	3	0,72 ab	4	1,10 b	4	1,78 ab
4	0,27 c	4	0,55 b	4	0,71 b	3	1,09 b	3	1,72 b
Fontes de nutrientes	Ht (m) 15 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 18 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 24 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 30 meses	Fontes de nutrientes	Ht (m) 36 meses
2	2,52 a	2	3,22 a	2	4,17 a	2	4,70 a	2	5,28 a
1	2,48 ab	1	3,17 ab	1	4,02 ab	1	4,42 b	1	4,98 b
4	2,43 b	4	3,08 bc	3	3,93 b	3	4,32 b	4	4,88 c
3	2,33 b	3	2,95 c	4	3,68 c	4	4,32 b	3	4,72 c

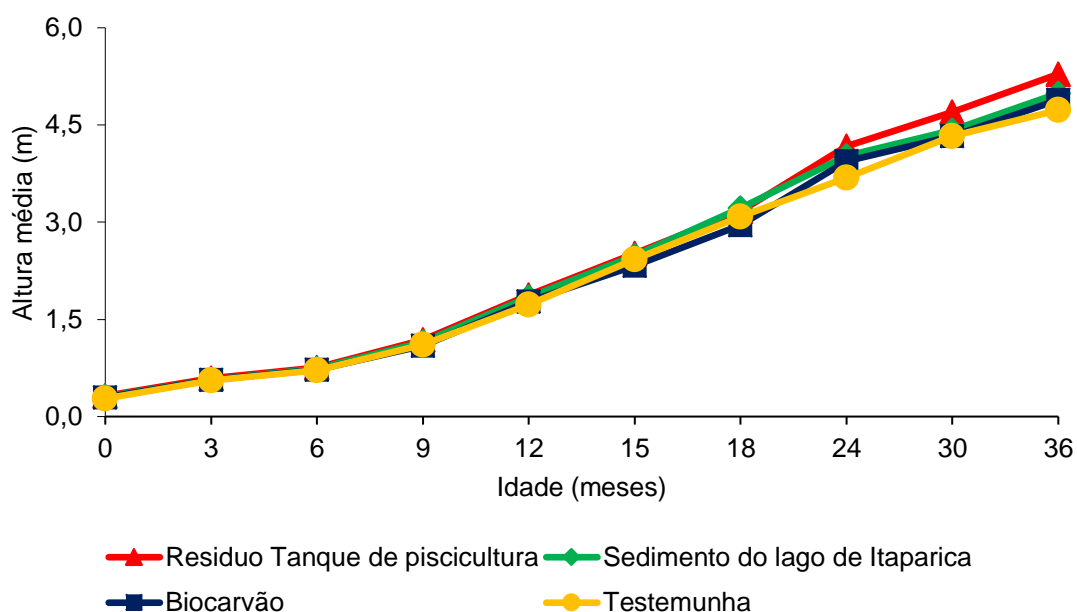
* Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fontes de nutrientes: 1 = Resíduos de tanques de piscicultura; 2 = Sedimentos do reservatório de Itaparica; 3 = Biocarvão; 4 = Testemunha ou controle; Ht = Altura média.

Na Figura 3 está representado o comportamento dos dados ao longo do tempo (36 meses) para o crescimento médio em altura das espécies florestais em função das fontes de nutrientes e o condicionador de solo.

Altura média (m) ao longo de 36 meses das três culturas florestais sob o efeito de diferentes fontes de nutrientes

Figura 2 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das três culturas florestais sob o efeito de diferentes fontes de nutrientes



Fonte – Elaborado pelo autor.

O maior incremento das espécies com sedimentos do lago e com o resíduo dos tanques de piscicultura pode estar associado ao alto teor de fósforo (Anexos 1 e 2), elemento essencial no crescimento de culturas vegetais.

Gunkel (2003), analisando as características dos sedimentos e a taxa de sedimentação de um lago tropical localizado na região dos Andes, no Equador, encontrou elevadas quantidade de fósforo (4,3 g/kg por peso seco), nutriente que desempenha papel essencial no crescimento de plantas. Nesta pesquisa foram verificados valores de fósforo entre 0,340 g/kg e 0,406 g/kg por peso seco.

Em uma pesquisa realizada no reservatório de Tucuruí - PA, Theodoro et al. (2007) comprovaram que os sedimentos acumulados apresentaram quantidades significativas de fósforo e de matéria orgânica que podem ser utilizados para incrementar a fertilidade dos solos.

Walter, Gunkel e Gamboa (2012), analisando as características físicas e químicas de sedimentos de um reservatório no Peru, coletados em diferentes profundidades, verificaram uma variação na quantidade de fósforo presente nos sedimentos de acordo com a sua profundidade, chegando esses valores a 111 mg.kg⁻¹ e 181 mg.kg⁻¹ para os sedimentos coletados em locais mais profundos e de 1,7 mg.kg⁻¹ e 12 mg.kg⁻¹ para os sedimentos de litoral.

Silva et al. (2013), em uma pesquisa realizada em uma área próxima ao reservatório de Itaparica, no município de Itacuruba - PE, compararam a concentração de nutrientes entre os resíduos de tanques de piscicultura com o esterco de animais (bovino, aves e suíno), e concluíram que os resíduos de piscicultura apresentaram maiores concentrações de nutrientes, principalmente em K, Mg, P e N do que os outros resíduos.

Os mesmos autores encontraram no resíduo de tanque de piscicultura outra importante característica, o elevado valor da relação C/N, que correspondeu a um valor de três, indicando que esse resíduo orgânico possui alta capacidade de mineralização e, conseqüentemente, alta capacidade de disponibilizar, de forma mais rápida, os nutrientes para as plantas.

Em relação à eficiência do biocarvão no desenvolvimento das culturas florestais, o mesmo não apresentou resultados expressivos, chegando a apresentar valores estatisticamente semelhantes ao tratamento sem adubação (Testemunha).

Tal fato pode ser explicado devido a característica que o biocarvão produzido somente de material vegetal, possui em reter nutrientes que se encontram no solo, disponibilizando-os para as plantas ao longo do tempo e de forma lenta.

Por isso, Lehmann (2009), sugere que durante o processo de produção do biocarvão de origem vegetal sejam utilizados outros materiais orgânicos ricos em nutrientes, como restos de alimentos, por exemplo.

Enders et al. (2012) avaliaram 94 tipos de biocarvão, provenientes de vários tipos de biomassa, como esterco de animais, águas residuais, lodo de esgoto, biomassa lenhosa, de indústria de papel e a mistura de alguns desses, observaram que os biocarvões provenientes de materiais lenhosos

apresentaram a mais alta variação dos valores de pH, de 5 a 7, valores esses que estão na faixa ideal para a maioria das plantas.

Petter (2010) avaliou o efeito de biocarvão produzido a partir de árvores nativas e comerciais em solos do bioma Cerrado, tendo sido observado que houve um aumento nos níveis de P, K, Ca e Mg disponíveis e redução do potencial de acidez do solo, com baixos teores de Al e aumento da eficiência de uso de nutrientes do solo.

De acordo com Lehmann et al. (2011), o aumento nas adições de carbono orgânico melhora a retenção de nutrientes que se tornam acessíveis às raízes das plantas com o passar do tempo.

Diante dos resultados apresentados, é possível observar que as fontes de nutrientes proporcionaram condições que favoreceram o desenvolvimento das quatro culturas avaliadas, tornando-se assim, mais uma opção de baixo custo de adubação orgânica para plantios naquela região.

Em relação ao uso do biocarvão, a sua aplicação de forma isolada deve ser evitada, recomendando-se que esse condicionador de solo seja adicionado em misturas com outras fontes de nutrientes.

4.4 Efeito dos espaçamentos no crescimento em altura das espécies florestais

Na Tabela 9 são apresentados os valores referentes as quatro espécies florestais avaliadas em função do espaçamento, relativo ao crescimento em altura.

Tabela 9 - Testes de Tukey ao nível de 5% de significância para as médias de altura ao longo do tempo (36 meses) para os dois espaçamentos avaliados

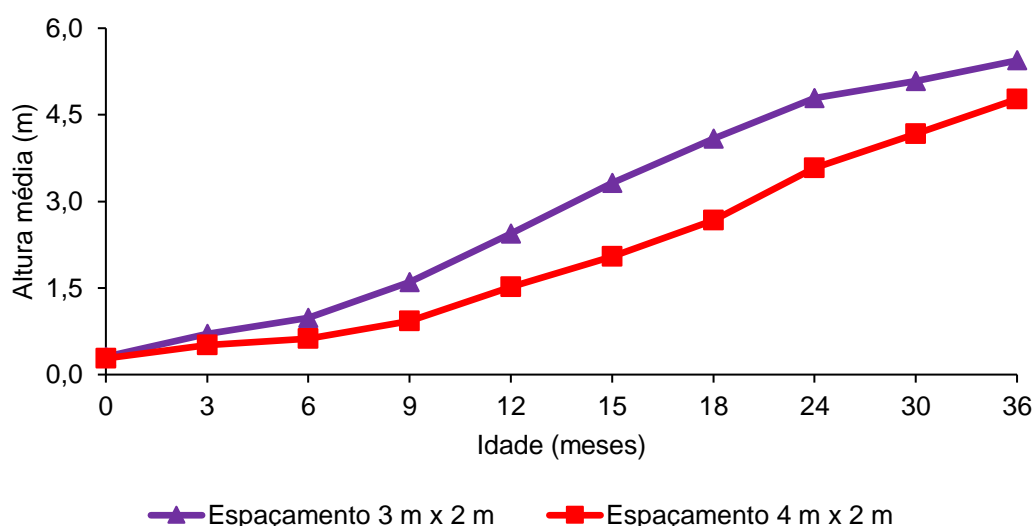
Espaçamento	Ht (m) 0 mês	Espaçamento	Ht (m) 3 meses	Espaçamento	Ht (m) 6 meses	Espaçamento	Ht (m) 9 meses	Espaçamento	Ht (m) 12 meses
1	0,31 a	1	0,70 a	1	0,98 a	1	1,60 a	1	2,44 a
2	0,30 a	2	0,51 b	2	0,62 b	2	0,92 b	2	1,51 b
Espaçamento	Ht (m) 15 meses	Espaçamento	Ht (m) 18 meses	Espaçamento	Ht (m) 24 meses	Espaçamento	Ht (m) 30 meses	Espaçamento	Ht (m) 36 meses
1	3,32 a	1	4,08 a	1	4,79 a	1	5,08 a	1	5,44 a
2	2,04 b	2	2,67 b	2	3,59 b	2	4,16 b	2	4,77 b

* Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
Espaçamentos: 1 = espaçamento 3 m x 2 m; 2 = espaçamento 4 m x 2 m; Ht = Altura média.

De acordo com Tabela 9, verificou-se que em todas as épocas de medição, para o espaçamento 3 m x 2 m as culturas florestais apresentaram uma altura média de 5,44 m, com valor superior ao apresentando pelas mesmas culturas para o espaçamento 4 m x 2 m.

Na Figura 4 está representado o comportamento dos dados ao longo do tempo (36 meses) para o crescimento médio em altura das espécies florestais em função dos espaçamentos.

Figura 3 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das quatro culturas florestais sob o efeito dos espaçamentos



Fonte – Elaborado pelo autor.

Observa-se que as espécies que foram plantadas no espaçamento 3 m x 2 m, a partir do terceiro mês de idade do povoamento, apresentaram uma superioridade em crescimento em altura média, em comparação às espécies plantadas no espaçamento 4 m x 2 m. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que os indivíduos arbóreos plantados em espaçamento mais adensado apresentam maior competição por luz e água, influenciando no crescimento em altura dos indivíduos.

Assis et al. (1999) estudaram o crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos e encontraram as maiores alturas aos quatro anos de idade para as árvores pertencentes aos espaçamentos mais reduzidos, concluindo que o espaçamento mais adensado proporciona uma maior competitividade entre os indivíduos do povoamento por luz.

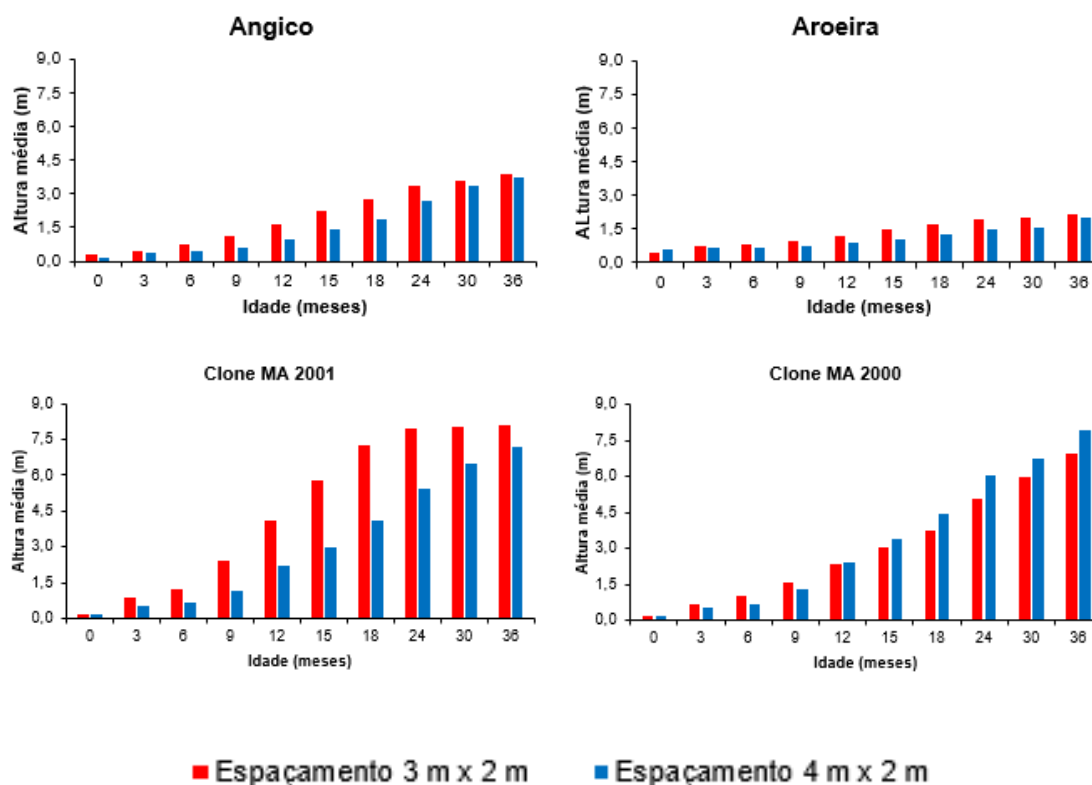
Kruschewsky et al. (2007) buscaram avaliar o comportamento de *Eucalyptus* spp., sob quatro diferentes espaçamentos em um sistema agrossilvipastoril e verificaram que para a variável altura, aos três anos de idade do plantio, os maiores valores foram obtidos para os espaçamentos mais reduzidos (3,33 m x 2 m em relação a 3,33 m x 3 m e 5 x 2 m).

Ferreira et al. (2014), avaliando o crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos, entre o terceiro e o sexto ano de idade, observaram que os espaçamentos 3 m x 2 m e 3 m x 2,5 m apresentaram crescimento médio em altura superior aos espaçamentos 3 m x 1 m e 3 m x 1,5 m.

Martinotto et al. (2012), avaliando o crescimento inicial de mudas de seis espécies arbóreas do bioma Cerrado, verificaram que o angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), plantado no espaçamento 3 m x 3 m, consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*) e em plantio isolado, apresentou crescimento médio em altura de 2,0 m aos 20 meses de idade, valor inferior à altura média do angico dessa pesquisa, que aos 18 meses de idade já apresentava uma altura média de 2,11 m.

Na Figura 5, está representado o comportamento do crescimento médio em altura das quatro culturas florestais plantadas em diferentes espaçamentos.

Figura 4 - Altura média (m) ao longo de 36 meses das quatro culturas florestais sob o efeito de diferentes tipos de espaçamentos



Fonte – Elaborado pelo autor.

É possível observar que as diferentes espécies se comportaram de diferentes maneiras para os dois espaçamentos. A partir dos três meses de idade, o espaçamento 3 m x 2 m propiciou um maior crescimento em altura para três culturas florestais avaliadas, com exceção do Clone MA 2000, que após um período 12 meses do plantio teve um maior desenvolvimento no espaçamento 4 m x 2 m.

Esses resultados podem ser comprovados por algumas pesquisas realizadas sobre o crescimento do gênero *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos.

Morais (2006), avaliando o crescimento de clones de eucaliptos sob diferentes espaçamentos até os sete anos de idade, verificou que os indivíduos plantados em espaçamentos mais adensados apresentaram maior crescimento em altura, fato que também pôde ser observado nesta pesquisa.

Assis et al. (1999) relataram que em uma mesma densidade populacional, mas com diferentes espaçamentos, indivíduos de eucaliptos apresentaram

diferentes valores para DAP médio e altura média, demonstrando que o espaçamento entre plantas tem relação direta com o seu desenvolvimento.

Em relação ao crescimento médio em altura para as espécies florestais nativas, aroeira e angico, ambas as espécies apresentaram crescimento superior no espaçamento 3 m x 2m, com alturas médias de 2,13 m e 3,86 m, respectivamente, aos 36 meses de idade.

Esse baixo valor da altura média dos indivíduos da espécie aroeira pode ser devido as suas características morfológicas. Segundo Carvalho (2003), a aroeira apresenta crescimento lateral, ou seja, perdendo o seu ponto vegetativo do eixo principal (gema apical) após surgirem as primeiras ramificações.

Bertoni e Dickfeldt (2007) avaliaram o desenvolvimento inicial de mudas da espécie aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), concluindo que o crescimento em altura de aroeira foi melhorado quando a mesma foi plantada em consórcio com espécies que possuem rápido crescimento, em função do sinergismo estabelecido.

Avaliando a influência do espaçamento de plantio no crescimento de seis espécies florestais nativas (angico vermelho, aroeira pimenteira, guapuruvu, paineira, ingá e babosa branca), Nascimento et al. (2012) concluíram que após 22 meses do plantio, todas as espécies avaliadas apresentaram maior crescimento no espaçamento 3 m x 2 m.

Leles et al. (2011) analisaram o crescimento de espécies florestais plantadas sob diferentes espaçamentos em uma área de recomposição florestal por um período de 36 meses, e observaram maior crescimento em altura das espécies nos espaçamentos mais amplos, tendo sido o espaçamento 3,0 m x 2,0 m o que apresentou os melhores resultados para os plantios de recomposição florestal.

Desta forma, foi possível observar que as culturas florestais plantadas em espaçamento mais adensado apresentaram os maiores valores médio para a variável altura, ocasionada pela maior competição intraespecífica por elementos essenciais, água e luz, ao estabelecimento e crescimento.

4.5 Volumetria e fator de forma

Foram amostradas 176 árvores, pertencentes aos dois clones de eucalipto (MA 2000 e MA 2001), com valores de DAP que variaram entre 4 cm e 6,0 cm. As espécies nativas, por não apresentarem essas dimensões não foram consideradas.

O volume médio com casca para o clone MA 2001 nos espaçamentos 3 m x 2 m e 4 m x 2 m (consorciado com feijão-caupi) foi de 44,52 m³.ha⁻¹ e 23,18 m³.ha⁻¹ respectivamente, resultando nos seguintes incrementos médio anual (IMA): 14,84 m³.ha⁻¹ e 7,72 m³.ha⁻¹.

Rocha (2012), em uma pesquisa realizada na região do Polo Gesseiro do Araripe, semiárido Pernambucano, obteve valor de IMA de 29,67 m³.ha⁻¹ para clones de eucaliptos com idade de 66 meses em regime de alto fuste. Já Gadelha (2010), trabalhando na mesma área, obteve valores de IMA de 28,00 m³.ha⁻¹ em alto fuste aos 66 meses.

De acordo com Gonçalves et al. (2014) relatam que o incremento médio anual (IMA) do eucalipto em bons plantios, pode apresentar valores entre 40 e 45 m³.ha⁻¹ de madeira com casca, com uma amplitude entre 25 e 60 m³.ha⁻¹, dependendo do material genético e do nível de estresse ambiental.

Esses baixos valores de IMA para os clones de eucaliptos avaliados nesta pesquisa, podem ser explicados devido ao longo período de estiagem e baixíssima umidade que atinge a região Nordeste nos últimos anos, e que mesmo o experimento sendo irrigado, as elevadas temperaturas influenciam a rápida evaporação da água.

O clone MA 2000 apresentou volume médio com casca para o espaçamento 3 m x 2 m de 12,70 m³.ha⁻¹ e de 15,56 no espaçamento 4 m x 2 m, resultando em incrementos médio anuais de 4,23 m³.ha⁻¹ e 2,57 m³.ha⁻¹, que são também valores extremamente baixos quando comparados com o IMA de eucalipto em outros locais.

Em relação aos fatores de forma obtido para os clones de eucaliptos, foram verificados valores médio foi de 0,61 para estimar o volume total com casca para o clone MA 2000 no espaçamento 3 m x 2 m. Já o fator de forma médio para o cálculo do volume com casca do clone MA 2001 foi 0,54 no mesmo

espaçamento. Para o espaçamento 4 m x 2 m os valores dos fatores de forma foram 0,59 para o clone MA 2000 e 0,58 para o clone MA 2001.

Esses valores estão dentro da faixa de fator de forma para o eucalipto, que na maioria dos estudos apresentaram valores entre 0,40 a 0,60.

Miranda, Junior e Gouveia (2015), avaliando o fator de forma e equações volumétricas para estimar volumes de árvores de eucalipto, obtiveram resultados de 0,46 para estimar volume total com casca. Gama, Santos e Mura (2010) estimaram o volume de eucaliptos com um fator de forma variando entre 0,42 e 0,46.

Os fatores de forma obtidos nesta pesquisa, podem ser utilizados para calcular o volume real de madeira em povoamentos de eucaliptos que apresentem características similares. O fator de forma médio encontrado foi de 0,58, sendo que, na ausência de um fator de forma específico para eucaliptos inseridos naquela região, esse valor pode proporcionar excelentes estimativas de volume.

4.6 Avaliação do rendimento do feijão-caupi no sistema agroflorestal

Na avaliação do sistema consorciado, considerando o uso eficiente da terra (UET), observa-se vantagem no rendimento de grãos para o sistema em monocultivo do feijão-caupi (Tabela 10).

Tabela 10 – Produtividade do feijão-caupi nos sistemas agroflorestais e em monocultivo e os seus respectivos valores de UET

Culturas	Ano/Produtividade (kg.ha ⁻¹)										Média (kg.ha ⁻¹)
	2014		2015		2016			2017			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Feijão em monocultivo	1162,30	1091,60	1051,17	1010,55	1021,29	903,32	853,13	930,47	933,59	882,81	984,02
Angico com feijão-caupi	1002,53	889,45	889,26	888,67	721,68	707,81	693,95	604,69	600,78	454,88	732,56
Aroeira com feijão-caupi	1083,20	886,13	943,75	884,96	760,55	821,48	789,45	795,90	905,27	775,59	864,61
Clone MA 2001 com feijão-caupi	1040,43	830,86	830,08	790,04	654,69	629,88	540,82	336,91	343,16	363,09	636,00
Clone MA 2000 com feijão-caupi	986,13	734,96	570,51	703,52	574,41	469,73	504,10	257,03	167,19	252,93	522,05
Consórcio/monocultivo	UET (%)										
UET	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
UET Angico x monocultivo	0,86	0,81	0,85	0,88	0,71	0,78	0,81	0,65	0,64	0,52	
UET Aroeira x monocultivo	0,93	0,81	0,90	0,88	0,74	0,91	0,93	0,86	0,97	0,88	
UET MA 2001 x monocultivo	0,90	0,76	0,79	0,78	0,64	0,70	0,63	0,36	0,37	0,41	
UET MA 2000 x monocultivo	0,85	0,67	0,54	0,70	0,56	0,52	0,59	0,28	0,18	0,29	

P1, P2, ..., P10 – Períodos de produção do feijão-caupi

UET – Uso Eficiente da Terra

De acordo com os dados da Tabela 10, observa-se que os plantios consorciados apresentaram menor potencial produtivo de feijão-caupi em relação aos monocultivos durante as dez épocas de plantio.

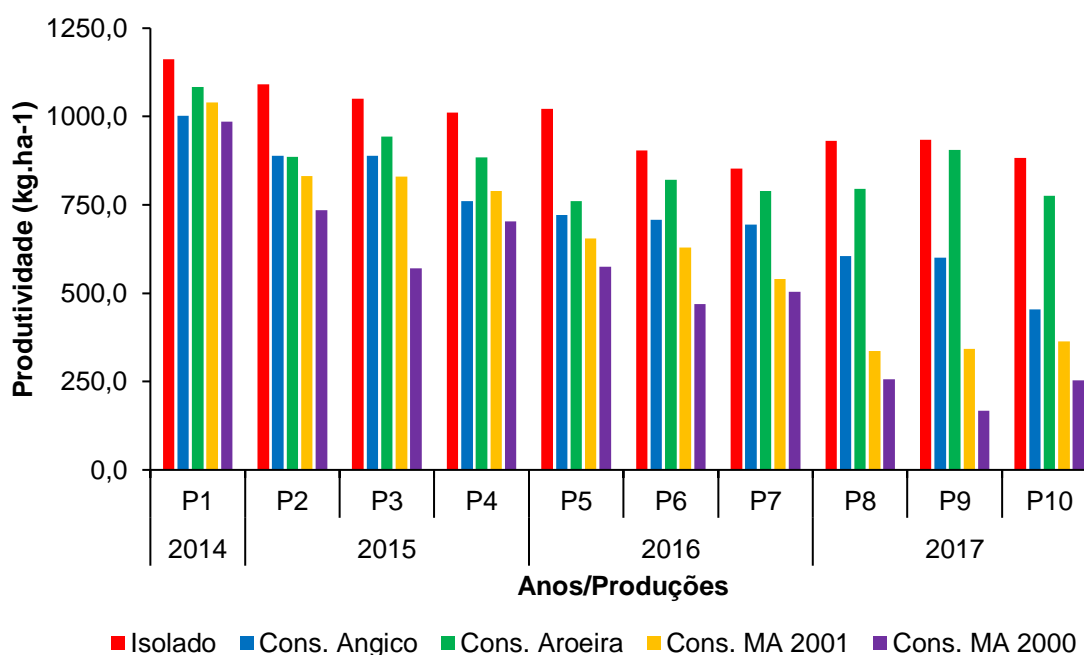
Entre os sistemas avaliados, aroeira + feijão-caupi foi o que apresentou maior produtividade ao longo das dez safras, com uma produtividade média de 864,61 kg.ha⁻¹, seguido pelo sistema angico + feijão-caupi com uma média de 732,56 kg.ha⁻¹, enquanto o feijão-caupi em monocultivo obteve uma produtividade média de 984,02 kg.ha⁻¹ nas dez safras.

Em todos os sistemas os valores do UET foram inferiores a 1, indicando que os consórcios apresentaram pouca eficiência no uso da terra quando comparados aos plantios isolados.

Levando-se em conta os valores de UET na avaliação dos sistemas agroflorestais, o que ficou com o valor mais próximo a um foi o sistema aroeira + feijão-caupi, com um valor de 0,97 na nona (9ª) safra.

Os resultados obtidos indicam (Figura 6) que em todas as safras a produtividade do feijão-caupi isolado foi superior à produtividade nos consórcios, e que tendeu a diminuir entre uma safra e outra.

Figura 5 - Produtividade do feijão-caupi nos sistemas agroflorestais e em monocultivo



Fonte – Elaborado pelo autor.

Diante dos resultados, mesmo apresentando densidades de indivíduos iguais, verifica-se que houve uma maior produtividade de feijão-caupi isolado, em relação ao consorciado com as culturas florestais, indicando que ocorreu competição da cultura agrícola com as árvores por recursos como luz, água e nutrientes, o que não acontece no plantio isolado.

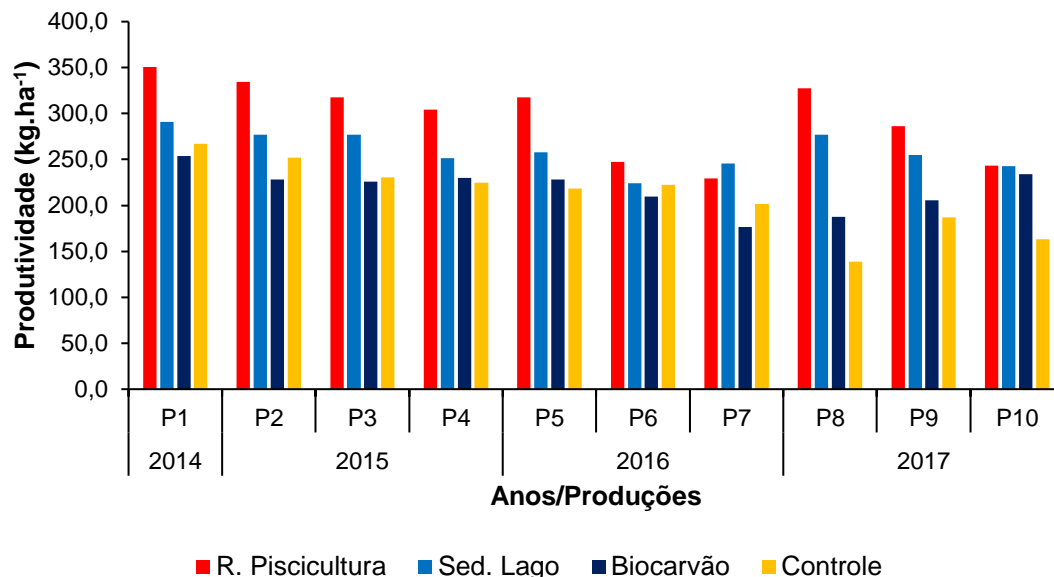
Percebe-se também que a produtividade potencial de feijão-caupi foi reduzindo ao longo dos anos para os tratamentos consorciados, podendo tal fato ser atribuído à maior ocupação da área pelas árvores (sombreamento), devido ao seu crescimento, além do que já foi discutido no parágrafo anterior, em relação a disputa, principalmente, por luz, entre as espécies florestais e agrícolas.

Cabe ressaltar que o plantio do feijão-caupi no sistema agroflorestal foi realizado com o objetivo de diminuir os custos com a implantação do povoamento florestal, isto é, passam a constituir uma fonte de renda extra para o produtor rural enquanto as árvores não sombreiam completamente o terreno. Essa renda mensal do consórcio, apesar de ser menor no monocultivo, não deve ser comparada diretamente com o plantio isolado, pois ela é associada à produção de madeira dos eucaliptos.

4.6.1 Avaliação da produtividade da cultura agrícola em função das fontes de nutrientes e do condicionador de solo

Na figura 7 estão representados os dados da produtividade do feijão-caupi isolado em função das fontes de nutrientes utilizadas como fertilizantes orgânicos e do condicionador de solo.

Figura 6 - Produtividade do feijão-caupi isolado em função das fontes de nutrientes avaliadas



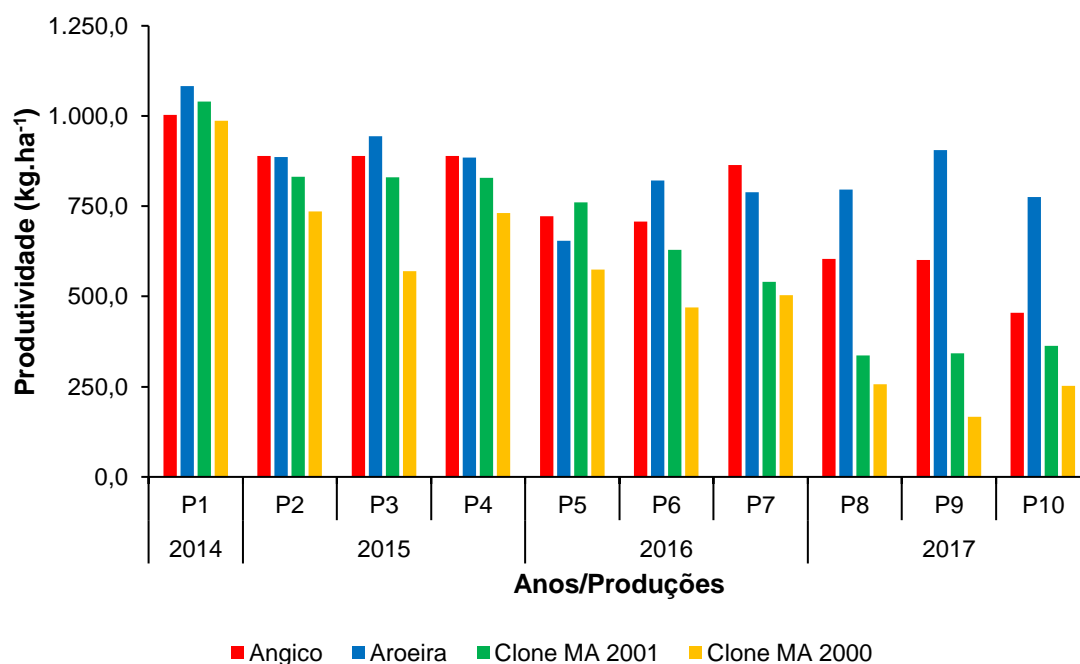
Fonte – Elaborado pelo autor.

Em todas as safras a fonte de nutriente resíduo de tanque de piscicultura foi a que proporcionou as melhores condições para que o feijão-caupi obtivesse as maiores produtividades. Na última safra não houve diferença significativa entre essa fonte e o sedimento do lago de Itaparica.

O biocarvão não proporcionou boas condições para que houvesse um aumento na produtividade do feijão-caupi. Percebe-se que em algumas épocas de plantios a testemunha propiciou resultados melhores do que o biocarvão. Tal fato pode ser explicado devido à capacidade que o biocarvão possui em reter nutrientes que estão disponíveis no solo, vindo a disponibilizá-los para as plantas de forma mais lenta.

Desta forma, a aplicação do biocarvão isolado deve ser evitada, recomendando-se que esse condicionador de solo seja adicionado em misturas com outros nutrientes.

Na Figura 8 estão representadas todas as produtividades do feijão-caupi consorciado com as espécies florestais avaliadas.

Figura 7 - Produtividade do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais

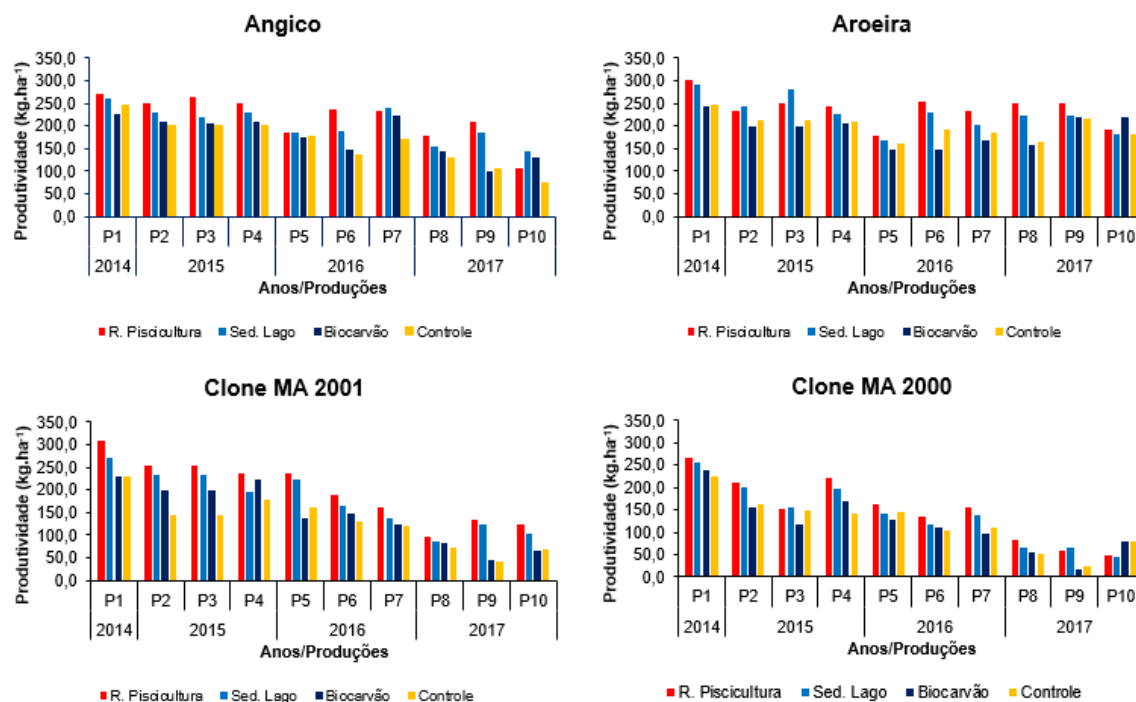
Em relação à produtividade do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais, nota-se que os sistemas com as espécies nativas da Caatinga, aroeira x feijão-caupi e angico x feijão-caupi foram os que proporcionaram as maiores produções de feijão-caupi em todas as safras, com uma produtividade média de 854,05 kg.ha⁻¹ para o consórcio com a aroeira e de 762,36 kg.ha⁻¹ para o consórcio com angico.

Para o feijão-caupi consorciado com os clones de eucalipto, obteve-se uma produtividade média de 636,00 kg.ha⁻¹ para o clone MA 2001 e 522,05 kg.ha⁻¹ para o clone MA 2000, apresentando uma produtividade menor quando consorciado com as espécies florestais nativas.

Isso pode ser explicado pelo fato de que as árvores de eucalipto já apresentavam um porte bem superior em relação ao porte das árvores das espécies nativas, sombreando boa parte do plantio de feijão-caupi. Com um porte bem maior, essa cultura passou a exigir uma maior quantidade de água e nutrientes, aumentando assim a competição com a cultura do feijão-caupi por esses recursos.

A Figura 9 representa a produtividade do feijão-caupi consorciado com todas as espécies florestais em função dos tratamentos avaliados.

Figura 8 - Produtividade do feijão-caupi consorciado com as culturas florestais adubado com as fontes de nutrientes avaliadas



Fonte – Elaborado pelo autor.

De acordo com os resultados especificados na Figura 9, o resíduo de tanque de piscicultura e o sedimento do lago de Itaparica foram as fontes de nutrientes que proporcionaram as maiores produtividades do feijão-caupi consorciado entre as espécies florestais.

Os dados mostram que o sistema angico x feijão-caupi x resíduo de tanque de piscicultura, apresentou uma produção de feijão-caupi superior em praticamente todas as épocas de plantio, diferenciando-se das demais interações com as outras fontes de nutrientes, podendo ser explicado pelo fato de que o angico e o feijão-caupi são espécies capazes de fixar nitrogênio, e devido ao resíduo de tanque de piscicultura ter apresentado doses significativas de N em sua composição.

Esse mesmo comportamento foi verificado no sistema aroeira x feijão-caupi adubado com as fontes de nutrientes resíduo de tanque de piscicultura e resíduo do lago de Itaparica.

Silva et al. (2013) analisaram a concentração de nutrientes entre os resíduos de tanques de piscicultura com o esterco de animais (aves, bovino e suíno) e verificaram que os resíduos de piscicultura apresentaram maiores

concentrações de nutrientes, principalmente em K, Mg, N e P do que os outros resíduos.

O sistema aroeira x feijão-caupi não apresentou diferenças significativas na produtividade de grãos secos de feijão-caupi quando adubado com as fontes de nutrientes resíduo de tanque de piscicultura e sedimento do lago de piscicultura.

Entre os anos de 2016 e 2017, nos sistemas com eucalipto a produtividade de feijão-caupi foi reduzida, indicando que ocorreu competição entre as espécies agrícola e florestal.

Este resultado pode ser explicado devido à ocorrência de competição por água, nutrientes e principalmente luz, na área sob a influência do plantio de eucalipto. O sombreamento ocasionado pelas copas das árvores de eucalipto, acabou afetando o desenvolvimento do feijão-caupi. Com exceção do feijão-caupi colhido até o final da segunda época, as demais produções foram diminuindo ao longo do tempo.

Além do sombreamento causado pelas espécies florestais, outro fator que contribuiu com a redução da produtividade do feijão-caupi no sistema agroflorestal, foi a presença de formigas nas áreas de predominância dos clones de eucalipto. Apesar da aplicação de formicidas durante o preparo do solo e após o plantio do feijão-caupi, grande parte da área plantada de feijão ainda foi afetada pela presença de formigas.

Ceccon et al. (1999) avaliaram a produtividade de feijão em um plantio de eucalipto já estabelecido e com três anos de idade, e verificaram que a produção de feijão foi muito abaixo do esperado, sendo justificado pelo fato de haver competição entre o eucalipto e o feijão por luz, água e nutrientes.

Avaliando a produtividade efetiva de feijão consorciado com eucalipto, Passos (1997) observou que não houve diferença significativa entre os tratamentos consorciados, porém, essa foi significativamente menor do que a produtividade do monocultivo.

Esses resultados permitem recomendar o uso de todas as espécies florestais avaliadas para comporem sistemas agroflorestais, além de sugerir o uso das fontes de nutrientes resíduos de tanque de piscicultura e sedimento do

reservatório de Itaparica como fertilizantes orgânicos para a adubação de plantios agrícolas e florestais.

4.7 Avaliação econômica da produção do feijão-caupi no sistema agroflorestal

Utilizando uma taxa de juros de 8% a.a. para o período avaliado, verificaram-se valores presentes líquidos (VPL) positivos para todas as épocas de plantios do feijão-caupi, indicando os sistemas agroflorestais testados, foram financeiramente viáveis (Tabela 11).

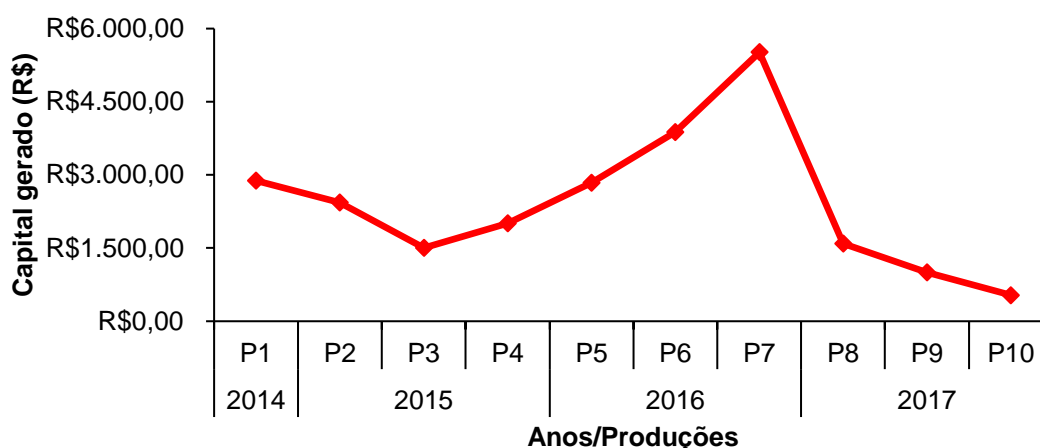
Tabela 11 - Análise econômica da produção de feijão-caupi nos sistemas agroflorestais.

Métodos	Sistema agroflorestal/Produções									
	2014		2015			2016			2017	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
VPL (R\$.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	2877,72	2433,36	1508,85	2011,99	2839,04	3875,62	5513,25	1589,01	1000,59	536,23
VAE (R\$.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	2390,00	2020,95	1253,13	1671,00	2357,88	3218,78	4578,87	1319,71	831,01	445,35
TIR (% a.a.)	14,30	13,00	11,00	12,20	13,40	15,00	17,10	10,40	9,20	8,10
B/C	14,40	12,18	9,27	11,00	12,81	15,64	20,00	8,47	7,12	5,91

Os maiores valores de VPL para a produção de feijão-caupi foram verificados nas seguintes épocas de plantio: (P1) com um VPL de 2.877,72 R\$.ha⁻¹, sexta época de plantio (P6) com um VPL de 3.875,62 R\$.ha⁻¹ e na sétima época de plantio (P7) com um VPL de 5.513,25 R\$.ha⁻¹.

A Figura 10 representa o comportamento dos valores de VPL encontrados na análise financeira da produção do feijão-caupi nos sistemas agroflorestais.

Figura 9 - Valores de VPLs calculados para a análise financeira da produção de feijão-caupi nos sistemas agroflorestais



Fonte – Elaborado pelo autor.

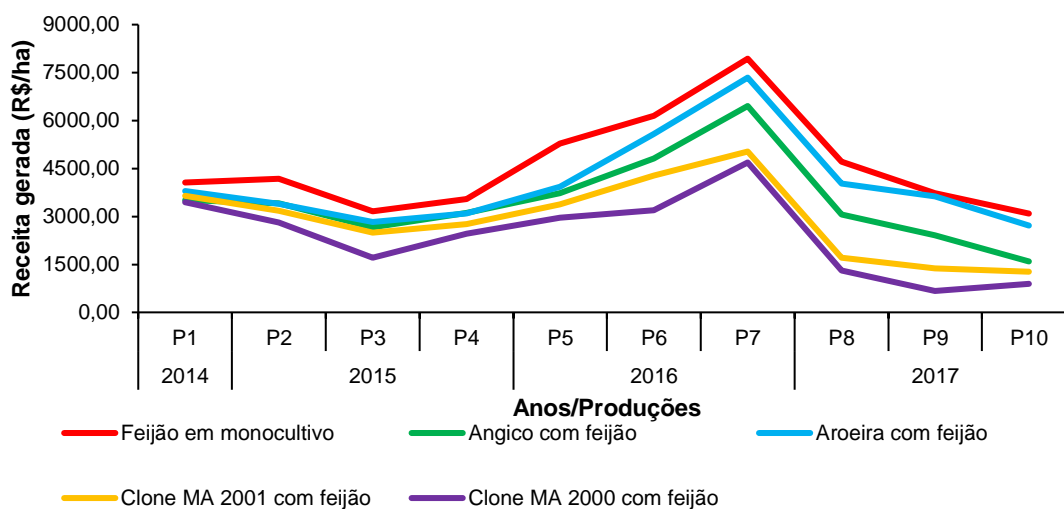
De acordo com a Figura 10, para este projeto a produção de feijão-caupi apresentou as maiores receitas até o terceiro ano de produção, ano de 2016, sendo que a partir desse momento, a produção de feijão-caupi diminuiu, fazendo com que o retorno financeiro dessa atividade seja bem menor quando comparado com os primeiros anos de plantio.

Em relação à mudança de comportamento da curva de VPL, tal fato se deve ao alto valor de mercado que o feijão-caupi alcançou durante os anos de 2015 e 2016, chegando a um valor médio de 7,10 R\$.Kg⁻¹ durante esse intervalo de tempo.

A variação da curva de VPL se deu em função do valor do feijão-caupi durante as épocas de produção. Entre os anos de 2015 e 2016, o valor da saca (60kg) do feijão-caupi foi crescendo

A Figura 11 representa a distribuição das receitas obtidas com a venda de feijão-caupi durante as dez safras em que foi plantado em monocultivo e nos sistemas agroflorestais.

Figura 10 - Receitas geradas com venda de feijão-caupi produzido em monocultivo e nos sistemas agroflorestais



Fonte – Elaborado pelo autor.

Analisando a Figura 11 é possível verificar que em todas as safras, a produção de feijão-caupi em monocultivo foi quem proporcionou as maiores receitas, com uma média de 4.583,48 R\$.ha⁻¹. Em relação às receitas geradas pelos sistemas agroflorestais, o sistema aroeira x feijão-caupi obteve as maiores receitas ao longo das dez safras, apresentando uma média de 4.030,24 R\$.ha⁻¹, seguido pelo sistema angico x feijão-caupi com uma média de 3.475,10 R\$.ha⁻¹.

A produção de feijão-caupi obtida nos sistemas agroflorestais com os clones de eucalipto, foi superior quando consorciado com o clone MA 2001 apresentando uma receita média de 2.912,77 R\$.ha⁻¹ nas dez safras

Diante dos resultados, o feijão-caupi em monocultivo apresentou uma rentabilidade superior ao feijão-caupi consorciado com as culturas florestais

Apesar da pouca rentabilidade apresentada pelo feijão-caupi no sistema agroflorestal, esse tipo de plantio deve continuar sendo utilizado como uma nova prática a ser adotada pelos agricultores da região, isso devido à renda que é gerada ao longo dos anos de duração do sistema, além de proporcionar variedade na oferta de produtos agrícolas e florestais.

4.8 Estimativa das produções de lenha e estacas em função da adubação orgânica e dos espaçamentos

Nas tabelas 12, 13 e 14 estão contabilizadas as estimativas do número de árvores por hectare classificadas de acordo com o critério pré-estabelecido DAP 4 cm a 6 cm e as estimativas da produção de estacas por hectare para os clones de eucalipto em função dos espaçamentos e sistemas de plantio.

Tabela 12 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 3 m x 2 m isolado entre os 18 e 36 meses de idade

Clone MA 2001	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	1644	1183	1008	878
Estacas/ha	461	175	130	71
Saldo/ha	1183	1008	878	807

Clone MA 2000	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	1388	852	476	186
Estacas/ha	536	376	290	153
Saldo/ha	852	476	186	33

Tabela 13 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 4 m x 2 m isolado entre os 18 e 36 meses de idade

Clone MA 2001	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	539	332	165	20
Estacas/ha	206	167	145	6
Saldo/ha	332	165	20	14

Clone MA 2000	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	1016	709	597	527
Estacas/ha	307	112	70	50
Saldo/ha	709	597	527	477

Tabela 14 - Estimativas das árvores/ha classificadas de acordo com o critério de DAP com valores de 4 cm a 6 cm para os dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 4 m x 2 m consorciado entre os 18 e 36 meses de idade

Clone MA 2001	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	748	491	352	257
Estacas/ha	257	140	95	78
Saldo/ha	491	352	257	179

Clone MA 2000	Meses			
	18	24	30	36
Nº árvores/ha	834	642	497	388
Estacas/ha	193	145	109	84
Saldo/ha	642	497	388	304

Na simulação de produção de estacas, o clone MA 2000 foi o que produziu a maior quantidade, sendo um total de 2.425 estacas/ha nos três espaçamentos, contra 1.860 estacas/ha do clone MA 2001 para os mesmos espaçamentos.

Isso demonstra a diferença entre a estrutura diamétrica dos clones nos três espaçamentos. O clone MA 2000 apresentou árvores com diâmetros menores em todos os espaçamentos, proporcionando sempre a inclusão de novas árvores no intervalo de DAP de 4 cm a 6 cm, entre os períodos de medição.

Outro fator que também influenciou na diferença de produção entre os clones foi a mortalidade. O clone MA 2001, plantado no espaçamento 4 m x 2 m em monocultivo e consorciado, apresentou uma mortalidade de 49%. Este elevado valor foi proporcionado pela ocorrência de salinidade no solo e ataque de formigas nas áreas onde esses tratamentos foram implantados.

Apesar da elevada taxa de mortalidade, após realizadas as simulações, foi verificado uma significativa produção de estacas e lenha para os dois clones de eucalipto nos diferentes espaçamentos, indicando que após dois anos de instalação dos plantios, monocultivo e consorciado, ambos já poderiam ter proporcionado a produção de produtos florestais, gerando renda que amenizaria os custos iniciais com a instalação dos plantios.

Em relação ao efeito da adubação orgânica e dos espaçamentos na produção de estacas, as tabelas 15, 16 e 17 indicam um resumo das quantidades produzidas.

Tabela 15 – Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 3 m x 2 m

Fertilizantes	Clone MA 2001				Clone MA 2000			
	Meses				Meses			
	18	24	30	36	18	24	30	36
Biocarvão	97	33	15	7	145	71	52	33
Resíduo tanque de piscicultura	134	52	41	26	134	100	78	52
Sedimento do lago de Itaparica	108	37	41	19	115	104	78	37
Testemunha	123	52	33	19	141	100	82	30

Tabela 16 – Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 4 m x 2 m isolado

Fertilizantes	Clone MA 2001				Clone MA 2000			
	Meses				Meses			
	18	24	30	36	18	24	30	36
Biocarvão	50	39	22	0	70	20	14	11
Resíduo tanque de piscicultura	67	42	36	3	84	39	25	17
Sedimento do lago de Itaparica	39	53	33	0	78	42	22	17
Testemunha	50	33	53	3	75	11	8	6

Tabela 17 - Estimativas da produção de estacas/ha para os dois clones de eucalipto em função da adubação orgânica no espaçamento 4 m x 2 m consorciado

Fertilizantes	Clone MA 2001				Clone MA 2000			
	Meses				Meses			
	18	24	30	36	18	24	30	36
Biocarvão	59	28	20	14	33	31	22	17
Resíduo tanque de piscicultura	84	50	42	33	70	53	42	36
Sedimento do lago de Itaparica	70	36	20	17	50	36	28	20
Testemunha	45	25	14	14	39	25	17	11

De acordo com dados apresentados nas tabelas acima, as fontes de nutrientes que proporcionaram as maiores produções de estacas foram o resíduo de tanques de piscicultura e o sedimento do reservatório de Itaparica, apresentando uma maior quantidade de estacas produzidas no espaçamento 3 m x 2 m.

Esses resultados comprovam o que já havia sido discutido anteriormente em relação à contribuição dessas fontes no crescimento de altura das culturas

florestais avaliadas. Tal fato se deve à quantidade de macronutrientes (anexo 1 a 4) que essas duas fontes de adubação orgânica apresentaram.

A superioridade da produção de estacas dos dois clones de eucalipto plantados no espaçamento 3 m x 2 m e adubados por essas duas fontes de nutrientes, pode ser explicada devido à significativa concentração de nutrientes que exercem papel fundamental no crescimento vegetal, como é o caso fósforo (P) (CHEN, et al., 2003).

4.9 Avaliação econômica do sistema agroflorestal

A análise econômica permitiu verificar que os fluxos de caixa dos diferentes sistemas apresentaram uma regularidade de receitas ao longo do período de avaliação (Tabelas 18, 19, 20).

Tabela 18 – Fluxo de caixa considerando a venda de lenha e a venda da lenha em conjunto com estacas no sistema em monocultivo dos dois clones de eucalipto no espaçamento 3 m x 2 m aos 36 meses

Custos e receitas para a produção de lenha				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3.500,00	
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	Arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	2	h/d	150,00	
Produção lenha	2	m ³ /ha		1.585,79
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção lenha	3	m ³ /ha		844,26
TOTAL (R\$)			4.650,00	2.430,05
Custos e receitas para a produção de lenha e estacas				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3.500,00	
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	Arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	2	h/d	150,00	

Continua...

Tabela 19 – Fluxo de caixa considerando a venda de lenha e a venda da lenha em conjunto com estacas no sistema em monocultivo dos dois clones de eucalipto no espaçamento 3 m x 2 m aos 36 meses

Custos e receitas para a produção de lenha e estacas				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Produção lenha	2	m ³ /ha		967,93
Produção estacas	2	estacas/ha		4.557,29
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção lenha	3	m ³ /ha		546,12
Produção estacas	3	estacas/ha		2.213,54
TOTAL (R\$)			4.650,00	5.699,32

Fazendo-se a comparação entre os valores das receitas obtidas com a venda das diferentes formas dos produtos florestais, verificou-se que as maiores receitas geradas foram provenientes da venda de lenha em conjunto com as estacas.

Essa modalidade de exploração surge como uma nova forma de negócio rentável para a região, pois em uma mesma área é possível obter dois tipos de produto de origem florestal que possuem bons valores no comércio local.

A grande procura por ambos os produtos, principalmente lenha, que é muito utilizada para a produção de carvão e na queima para a produção de artefatos cerâmicos (telhas, tijolos, etc.), faz com que o proprietário que optou por esse tipo de plantio, tenha a partir do segundo ano, uma renda que amenize os custos iniciais de instalação.

Na Tabela 19 estão contidos os valores referentes ao fluxo de caixa para o sistema de plantio dos dois clones de eucalipto no espaçamento 4 m x 2 m em monocultivo.

Tabela 20 - Fluxo de caixa considerando a venda de lenha e a venda da lenha em conjunto com estacas no sistema em monocultivo dos dois clones de eucalipto no espaçamento 4 m x 2 m aos 36 meses

Custos e receitas para a produção de lenha				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3.300,00	
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	Arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	2	h/d	150,00	
Produção lenha	2	m ³ /ha		580,68
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção lenha	3	m ³ /ha		300,18
TOTAL (R\$)			4.450,00	880,86
Custos e receitas para a produção de lenha e estacas				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3.300,00	
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	Arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	2	h/d	150,00	
Produção lenha	2	m ³ /ha		402,17
Produção estacas	2	estacas/ha		2.92,63
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção lenha	3	m ³ /ha		234,74
Produção estacas	3	estacas/ha		599,89
TOTAL (R\$)			4.450,00	3.329,43

Para o espaçamento 4 m x 2 m, verificou-se que ambas as receitas foram inferiores aos custos. Isso pode ser explicado em função da baixa produção de lenha e estacas, devido à alta taxa de mortalidade de árvores apresentadas para esse sistema. Apesar dos baixos valores para as receitas, a venda da lenha em conjunto com as estacas, ainda aparece como a melhor opção para a comercialização dos produtos em relação à comercialização de somente lenha.

Em relação ao fluxo de caixa do sistema agroflorestal no espaçamento 4 m x 2 m, os valores estão contidos na tabela 20.

Tabela 21 - Fluxo de caixa considerando a venda de lenha, a venda da lenha em conjunto com estacas e a venda do feijão-caupi no sistema agroflorestal para os dois clones de eucalipto no espaçamento 4 m x 2 m aos 36 meses

Custos e receitas para a produção de lenha				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3300,00	
Cultivo feijão-caupi	0	R\$/ha	1281,64	3.692,21
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão-caupi	1	R\$/ha	1381,29	2.987,97
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão-caupi	2	R\$/ha	1538,00	4.983,45
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção madeireira	2	m ³ /ha		408,51
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão-caupi	3	R\$/ha	1674,66	2.411,50
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção madeireira	3	m ³ /ha		16,20
TOTAL (R\$)			10.325,59	14.499,84
Custos e receitas para a produção de lenha e estacas				
Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita
Implantação	0	R\$/ha	3300,00	
Cultivo feijão-caupi	0	R\$/ha	1281,64	3.692,21
Manutenção eucalipto	0	R\$/ha	150,00	
Terra	0	arrendamento/ha	250,00	
Manutenção eucalipto	1	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão-caupi	1	R\$/ha	1381,29	2.987,97
Manutenção eucalipto	2	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão-caupi	2	R\$/ha	1538,00	4.983,45
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção madeireira	2	Estacas/ha		1.981,03
Produção madeireira	2	m ³ /ha		308,97
Manutenção eucalipto	3	R\$/ha	150,00	
Cultivo feijão	3	R\$/ha	1674,66	2411,50
Corte lenha	3	h/d	150,00	
Produção madeireira	2	Estacas/ha		864,96
Produção madeireira	2	m ³ /ha		14,55
TOTAL (R\$)			10.325,59	17.244,63

De acordo com o fluxo de caixa (Tabela 20), o sistema agroflorestal apresentou resultados positivos desde o ano 1, gerando receitas brutas com a

venda de produtos florestais e agrícola (lenha e feijão-caupi e lenha, estacas e feijão-caupi) de R\$ 14.499,84 e R\$ 17.244,63, respectivamente.

Esses resultados demonstram que as combinações entre as espécies florestais no sistema agroflorestal apresentam rendimentos bem maiores quando comparados à produção dessas espécies em monocultivos, isso em função do melhor aproveitamento da área e da diversidade de produtos gerados por esse sistema.

Mesmo com os elevados custos apresentados com a implantação e manutenção do sistema, essa forma de combinação para a exploração desses produtos se mostrou como uma alternativa viável, tendo em vista a ocorrência de saldo positivo ao longo do período em que o sistema foi avaliado.

Portanto, recomenda-se levar sempre em consideração o espaçamento e o manejo, para cada espécie que compõe o sistema, buscando sempre a otimização do seu rendimento econômico.

Em relação à análise econômica, nas Tabela 21 e 22, estão representados todos os valores obtidos para os métodos utilizados para analisar a rentabilidade dos sistemas adotados.

Tabela 22 – Valores obtidos após a realização da análise financeira do sistema agroflorestal considerando o sistema 3 m x 2 m em monocultivo aos 36 meses

Método de avaliação	Lenha	Lenha e estacas
VPL (R\$.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	511,12	799,44
VAE (R\$.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	424,50	663,95
TIR (% a.a.)	1,48%	4,26%
B/C	0,90	1,26

Tabela 23 – Valores obtidos após a realização da análise financeira do sistema agroflorestal considerando o sistema 4 m x 2 m aos 36 meses

Método de avaliação	Lenha	Lenha e estacas
VPL (R\$.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	3.828,34	4.218,93
VAE (R\$. ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	3.179,51	3.503,91
TIR (% a.a.)	2,94%	11,09%
B/C	1,26	1,49

Considerando a taxa de juros de 8% ao ano para o período de avaliação da pesquisa, foi possível verificar que para os sistemas avaliados 3 m x 2 m e 4

m x 2 m, todos os métodos de avaliação econômica apresentaram valores positivos, indicando que os mesmos foram economicamente viáveis.

No entanto, o SAF (Tabela 22) obteve os maiores valores de VPL para os dois cenários avaliados, demonstrando ser uma atividade financeiramente viável para ser adotada no sertão pernambucano.

A diversificação das receitas geradas no sistema agroflorestal (Tabela 19), a partir do ano 1 até o ano 3, gerou elevados valores para a taxa interna de retorno (TIR), sugerindo que o sistema apresentou uma boa rentabilidade do valor investido para esse tipo de atividade.

A relação Benefício/Custo (B/C) no valor de 1,26 para a combinação lenha, estaca e feijão-caupi indicou que as receitas deduzidas foram superiores em uma vez em relação aos custos que foram descontados, tendo um retorno financeiro de R\$ 1,26 para cada R\$ 1,00 investido.

Os resultados encontrados nesta pesquisa são compatíveis aos resultados obtidos por Arco-verde et al. (2003), Bentes Gama et al. (2005) e Müller et al. (2011), que também realizaram análises financeiras em seus trabalhos que envolviam sistemas agroflorestais, os quais também encontraram valores positivos de VPL para esse tipo de atividade.

Os baixos valores de lucro apresentados pelos sistemas em monocultivos foram decorrentes da ausência da diversificação da produção nesses sistemas, apresentando saldo positivo apenas na combinação entre a venda de lenha e estacas.

Oliveira, Scolforo e Silveira (2000) alertam sobre algumas situações que podem fazer com que esse tipo de sistema não seja viável economicamente como, por exemplo, altos valores para a taxa de desconto, a produtividade das espécies florestais que compõem o sistema, preço da madeira e o preço de revenda da cultura agrícola.

5 CONCLUSÕES

- As fontes de nutrientes, resíduos dos tanques de piscicultura e sedimentos do lago de Itaparica, contribuíram significativamente no crescimento em altura das culturas florestais analisadas, tornando-se alternativas para serem usados como biofertilizantes em plantios florestais e agrícolas na região de Itaparica;

- O biocarvão não apresentou resultados significativos no desenvolvimento das culturas florestais e do feijão-caupi;

- As maiores médias em altura para as culturas florestais foram alcançadas no espaçamento 3 m x 2 m.

- O clone MA 2001 foi o que apresentou a maior média de crescimento em altura para os clones de eucaliptos avaliados;

- Entre as espécies nativas avaliadas, o maior crescimento médio em altura foi verificado para o angico;

- Os consórcios entre as espécies nativas, angico e aroeira, apresentaram os melhores resultados em relação à produtividade do feijão-caupi;

- O feijão-caupi em monocultivo obteve as maiores produtividades em relação aos sistemas agroflorestais;

- O sistema agroflorestal apresentou melhor desempenho financeiro em relação aos monocultivos, apresentando receitas positivas desde o primeiro ano do projeto;

- A combinação “lenha e estacas” proporcionou as maiores receitas em todos os sistemas avaliados, sendo, portanto, mais lucrativo quando comparado com a venda de apenas lenha.

ANEXOS

Anexo 1 - Análise química dos resíduos dos tanques de piscicultura aplicado no plantio na primeira adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

CE Extrato de saturação	pH em água	Ca	Mg	K	Na	Soma das bases	H	Al	CTC (pH 7,0)	Saturação por bases	Saturação por Al	Saturação por sódio	N	P Assimilável	M.O
(dS/m)		(cmol (+)/Kg)								(%)	(%)	(%)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
5,71	6,20	5,50	2,90	0,19	0,58	9,17	0,66	0,00	9,83	93	0,00	5,90	0,50	340	31,50

Anexo 2 - Análise química dos resíduos dos tanques de piscicultura aplicado no plantio na segunda adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

CE Extrato de saturação	pH em água	Ca	Mg	K	Na	Soma das bases	H	Al	CTC (pH 7,0)	Saturação por bases	Saturação por Al	Saturação por sódio	N	P Assimilável	M.O
(dS/m)		(cmol (+)/Kg)								(%)	(%)	(%)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
5,71	6,10	10,02	3,24	0,33	0,85	14,43	1,43	0,00	15,86	91	0,00	5,36	1,50	406	30,51

Anexo 3 - Análise química do sedimento do reservatório de Itaparica aplicado no plantio na primeira adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

CE Extrato de saturação	pH em água	Ca	Mg	K	Na	Soma das bases	H	Al	CTC (pH 7,0)	Saturação por bases	Saturação por Al	Saturação por sódio	N	P Assimilável	M.O
(dS/m)		(cmol (+)/Kg)								(%)	(%)	(%)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
1,32	5,00	15,0	4,10	0,26	1,70	21,06	2,20	0,10	23,37	90	0,47	7,27	2,90	20	62,78

Anexo 4 - Análise química do sedimento do reservatório de Itaparica aplicado no plantio na segunda adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

CE Extrato de saturação	pH em água	Ca	Mg	K	Na	Soma das bases	H	Al	CTC (pH 7,0)	Saturação por bases	Saturação por Al	Saturação por sódio	N	P Assimilável	M.O
(dS/m)	(cmol (+)/Kg)									(%)	(%)	(%)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
1,32	4,90	14,67	4,76	0,20	1,41	21,05	5,40	0,10	26,55	79	0,47	5,31	2,80	30	63,79

Anexo 5 - Análise química do biocarvão aplicado no plantio na primeira adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

Tamanho da partícula	pH em água	Carbono (%)	N (%)	P - Extraível (mg/kg)	K (g/kg)	Na (g/kg)	CEC _{eff} (mol.DS ⁻¹)
< 2 mm	9,05	96,85	0,37	73,15	4,10	2,50	23,12

Anexo 6 - Análise química do biocarvão aplicado no plantio na segunda adubação, no experimento na Estação Experimental do IPA em Belém de São Francisco, PE.

Tamanho da partícula	pH em água	Carbono (%)	N (%)	P - Extraível (mg/kg)	K (g/kg)	Na (g/kg)	CEC _{eff} (mol.DS ⁻¹)
< 2 mm	8,06	96,77	0,39	73,36	4,30	2,30	23,15

6 REFERENCIAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**. v.1 n.2, p.50-59, 2008.

ABREU JÚNIOR, C. H.; et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Ci. Solo**, v. 4, p. 391-470, 2005.

ALMEIDA, A. C. de; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Rev. Árvore**, v.27, n.2, 2003.

ALMEIDA, R. G. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. VII Encontro de sobre Zootecnia do Mato Grosso do Sul. **Anais... EZOOMS**, 2010.

ANDRADE, M. J. B.; et al. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.2, p.242-250, 2001.

ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Semiárido do Ceará. In: 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions. Fortaleza - Ceará, Brazil, 2010.

ARAUJO, R. P. et al. Produção e composição química de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em sistema silvipastoril sob diferentes espaçamentos com *Eucalyptus urophylla* s.t. Blake. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, n.1, p.90-98, 2013.

ARCO-VERDE, M. F. et al. **Avaliação silvicultural, agronômica e socioeconômica de sistemas agroflorestais em áreas desmatadas de ecossistemas de mata e cerrado em Roraima**. Brasília: PPG-7. 2003, p. 95-99.

ASSIS, R. L. et al. Produção de Biomassa de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na Região de Cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, p.151 - 156, 1999.

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o future. **Scientia Florestalis**, n. 66, p.191-203, 2004.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Belém do São Francisco – PE**. CPRM/PRODEEM, 2005. 33p.

BENTES-GAMA, M. M. et al. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental, Machadinho D'oeste – RO. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.401-411, 2005.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda de nutrientes no Brasil. In: Manzatto, C.V.; Freitas Júnior, C.; Peres, J.R.R. (Eds). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ. p. 61-78, 2002.

BERTONI, J. E. A.; DICKFELDT, E. P. Plantio de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira) em área alterada de floresta: desenvolvimento das mudas e restauração florestal. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.19, n.1, p.31-38, 2007.

CAMPANHA, M. M. **Teores e estoques de carbono no solo de Sistemas Agroflorestais e tradicionais no Semiárido Brasileiro**. EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos, Circular Técnica, n.42, Sobral, Ceará, 2009.

CANDEIAS, A. L. B.; BARBOSA, C.; BARBOSA, E. Algumas considerações sobre o reservatório de Itaparica utilizando análise multitemporal. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente – SP, p.1119-1122, 2007.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, 1994. 639 p

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CARVALHO, A. J. **Sistemas de produção de feijão em consórcio com eucalipto ou com braquiária**. 2009. 129 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CECCON, E. et al. Consórcio entre *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. aos três anos de idade com diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Árvore**, v.23, n.1, p.9-14, 1999.

CECCON, E. Eucalyptus agroforestry system for small farms: 2-year experiment with Rice and beans in Minas Gerais, Brazil. **New Forests**, v.29, p.261-272, 2005.

CECCON, E. Production of bioenergy on small farms: a two-year agroforestry experiment using *Eucalyptus urophylla* intercropped with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. **New Forests**, v.35, p.285-298, 2008.

CHAER, G. M et al. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, v.31, n.2, p.139-149, 2011.

CHEN, C.R.; et al. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. **For. Ecol. Manag.**, n.177, p.539-557, 2003.

COELHO JÚNIOR, L. M. et al. Análise de risco de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Revista Cerne**, v.14, p.368-378, 2008.

COSENZA, D. N. et al. Avaliação econômica de projetos de sistemas agroflorestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.36, n.88, p.527-536, 2016. Doi: 10.4336/2016.pfb.36.88.1218

COSTA, A. N.; et al. Reciclagem agrícola do lodo de lagoas de estabilização. In: **Gerenciamento do lodo de Lagoas de estabilização não mecanizadas**. PROSAB - Programa de pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 1999.

COUTO, L.; DANIEL, O.; GARCIA, R.; BOWERS, W.; DUBÉ, F. **Sistemas Agroflorestais com Eucalipto no Brasil: uma visão geral**. Documento SIF, Viçosa-MG, n.17, 1998. 49 p.

DRUMOND, M. A. et al. Contribuição da Embrapa Semiárido para o desenvolvimento dos Sistemas Agroflorestais no semiárido brasileiro. **Agrossilvicultura**, v.1, n.2, p.145-153, 2004 a.

DRUMOND, M. A.; MORGADO, L. B. Espécies arbóreas alternativas para Sistemas Agroflorestais no semiárido brasileiro. **Agrossilvicultura**, v.1, n.1, p.43-50, 2004 b.

DUBÉ, F. et al. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com *Eucalyptus* sp. no noroeste de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 4, p.437-443, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Nordeste**. 2016. Disponível em: <> Acesso: 31 de outubro de 2017.

ENDERS, A. et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644–653, 2012.

FERREIRA, D. H. A. A. et al. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. Grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v.44, n.3, p.431-440, 2014.

GADELHA, F. H. de L.; et al. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* sp. no Polo Gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, v.22, n.2, p.331-341, 2012.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Atributos biológicos em solos sob sistemas agroflorestais de cacau: um estudo de caso. In: GAMA-RODRIGUES et al.

Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p.243-255.

GAMA, F. F.; DOS SANTOS J. R.; MURA, J. C. *Eucalyptus* biomass and volume estimation using interferometric and polarimetric SAR data. **Remote Sensing**, v.2, p.939-956, 2010. Doi: 10.3390/rs2040939

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. 3. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 653p.

GONÇALVES, J. L. M.; et al., Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Ed.). Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras, Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2014. p. 349-382.

GUIMARÃES, P. T. et al. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. **Inf. Agropec.**, n. 214/215, p. 63-81, 2002.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorous from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. **Aquaculture**, v.226, p.201-212, 2003. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00478-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00478-2).

GUNKEL, G. Contamination and eutrophication risk of a reservoir in the semi-aride zone: Reservoir Itaparica, Pernambuco, Brazil. In: **Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany**. Berlin: Technische Universität Berlin, 2007.

GUNKEL, G. Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. **Rev. Biol. Trop.**, v.51, n.2, p.381-390, 2003.

GUNKEL, G.; MATTA, E.; SELGE, F.; SILVA, G. M. N.; SOBRA, M. C. Carrying capacity limits of net cage aquaculture in Brazilian reservoirs. **RBCIAMB**, n.36, p.128-144, 2015. Doi: 10.5327/Z2176-947820151008

GUNKEL, G.; SOBRAL, M.C. Re-oligotrofication as a challenge for tropical reservoir management with reference to Itaparica Reservoir, São Francisco, Brazil. **Water Science & Technology**, v.64, n.4, p.708-714, 2013.

HAKALA, K.; JAUHAINEN, L. Yield and nitrogen concentration of above- and below-ground biomasses of red clover cultivars in pure stands and in mixtures with three grass species in northern Europe. **Grass Forage Sci.**, v. 62, p.312-321, 2007.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2017**. Brasília, 2017. 80p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1). p. 92, 1992.

JEFFERY, S.; et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, p.175- 187, 2011.

KRUSCHEWSKY, G. C.; et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus* spp. em sistema agrossilvipastoril no Cerrado. **Cerne**, v.13, p.360-367, 2007.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n.7, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. UK. MPG Books, 2009, 416 p.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, n.9, p.1812-1836, 2011.

LELES, P. S. S. et al. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, p.231-239, 2011.

LEMOS DA SILVA, M. C. **Procedimentos para análise de fertilidade do solo**. In: FIGUEIREDO, M. V. B. Manual de práticas laboratoriais: um guia para pesquisa. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, cap. 20, p. 369-382. 2013.

LIMA, W. de. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301p.

LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob Sistemas Agroflorestais e agricultura de corte e queima no Norte do Piauí. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.51-60, 2011.

LI, L.; TANG, C.; RENGEL, Z.; ZHANG, F. Chickpea facilitates phosphorus uptake by intercropped wheat from an organic phosphorus source. **Plant and Soil**, v.248, n.1- 2, p.297-303. 2003.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Plantarum, 2002. 512p.

KRUSCHEWSKY, G.C. et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus* spp., em sistema agroflorestal no Cerrado. **Cerne**, v.13, p.360-367, 2007.

MACEDO, R. L. G. VALE, A. B. do; VENTURIM, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 2010, 331 p.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B. do; VENTURIM, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p.71-85, 2008.

MAGALHÃES, J. G. S.; et al. Análise econômica de sistemas agroflorestais via uso de equações diferenciais. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.73-79, 2014.

MAIA, S. M. F. et al. Impacto de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v.33, n.5, p.837-848, 2006.

MARTINOTTO, F. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.1, p.22-29, 2012.

MARTINS, J. C. R. et al. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.581-587, 2013.

MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, Beachwood, v.11, n.2, p. 204-209, 1940.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C. dos; SOUZA, W.F.L. de. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v.21, n.2, p.212 - 231, 2007.

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologias; Colombo, PR: Embrapa Floresta, p. 269-312, 2000.

MELO, G. L. **Estudo da qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado na bacia do rio São Francisco**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 97 f.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, p.109-141, 2000.

MENEZES, J. B. et al. Índice de vulnerabilidade à erosão para uma bacia na mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 8, n. 2, p.45-56, 2007.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia plena**, v.11, n.3, 2015.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais – PENSAF**. Brasília-DF. 2006. 38 p.

MONTAGNINI, F. et al. **Sistemas agroflorestales**: principios y aplicaciones en los trópicos. 2. ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

MORAIS, V. **Dinâmica de crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. Lavras, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras.

MORGADO, L. B.; RAO, M. R. **Conceito e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. EMBRAPA, 1986. 79p.

MÜLLER, M. D. et al. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.10, p.1148-1153, 2011.

MÜLLER, M. D.; SALLES, T. T.; PACIULLO, D. S. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. R. T. Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. **Floresta**, v.44, n.3, p.473 - 484, 2014.

NASCIMENTO, D. F. et al. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, v.18, n.1, p.159-165, 2012.

NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, ICRAF. 2003.

NEMEC, A. F. N. **Analysis of repeated measures and time series: An Biometrical information with forestry examples handbook**. Ministry of Forest, Victoria B. C. Work paper 83 p. 1996.

NETO, M. M. G. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **B. Indústr. Anim.**, v.71, n.2, p.183-191, 2014. Doi: 10.17523/bia.v71n2p183

OLIVEIRA NETO, S. N. de; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F. Eucalipto: as questões ambientais e seu potencial para sistemas agrosilvipastoris. In: FERNANDES, E. N. et al. **Sistemas agrosilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. EMBRAPA – Gado de corte, Juiz de Fora. p.245-282, 2007.

OLIVEIRA, E. B.; SCHREINER, H. G. **Caracterização e análise estatística de experimentos de agrossilvicultura**. CNPF/EMBRAPA – FAO, Curitiba, 1986. 29p.

OLIVEIRA, A. D.; MACEDO, R. L. G. **Sistemas agroflorestais: considerações técnicas e econômicas**. Lavras, MG: UFLA, 1996. 255p.

OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, p.1-19, 2000.

OLIVEIRA, T. K. et al. **Manejo da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais**. In: WADT, P.G.S. (Ed.). Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, p.375-412, 2005.

OLIVEIRA, T. K. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.01-09, 2009.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, v.295, p.199-212, 2013.

PACIULLO, D. S. C.; et al. Arranjos e modelos de sistemas silvipastoris. In: FERNANDES, E.N. et al. **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. EMBRAPA – Gado de corte, Juiz de Fora. p.13-50, 2007.

PASSOS, C. A. M. **Sistemas agroflorestais com eucalipto para uso em programas de fomento florestal, na região de Divinópolis, MG**. 1997. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAULA, R. R. et al. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforest System**, v.87, p.1295–1307, 2013.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais de seu uso em solos de Cerrado**. 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PETTER, F. A. et al. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropec. Bras.** v.47, n.5, p.699-706, 2012.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Circular técnica: **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. EMBRAPA. Jaguariúna, SP, 2008.

PLUCHON, N.; GUNDALE, M. J.; NILSSON, M. C.; KARDOL, P.; WARDLE, D. A. Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects

of charcoal properties, seedling species and soil fertility. **Functional Ecology**, v.28, p.766–775, 2014.

RAMÍREZ, G. A.; SOMARRIBA, E.; LUDEWIGS, T.; FERREIRA, P. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. **Agroforestry Systems**, v.51, n.1, p.144-154, 2001.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2 ed. – Viçosa: UFV, 2001.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais para o desenvolvimento sustentável do semi-árido. **In: Congresso brasileiro sobre sistemas agroflorestais**, 1, 1994, Porto Velho. Anais., Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p.149-158, 1994.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgar Blucher, 1995. 296 p.

ROCHA, K. D. **Produtividade volumétrica de clones de Eucalyptus spp. na Região do Polo Gesseiro do Araripe**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife–PE, 2012, 110 f.

RODRIGUES, A. M. et al. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. **R. Bras. Zootec.** v.37, p.990-997, 2008.

RODRIGUES, E. R.; et al. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.941-948, 2007.

ROSA, A. V. **Agricultura e meio ambiente**. São Paulo: Atual, 1998.

SALIN, T. C. et al. Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.109-118, 2012.

SANTALLA, M.; et al. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant Soil**, v. 346, p.63–78, 2011.

SANTOS, M. J. C.; PAIVA, S. N. Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.135-141, 2002.

SANTOS, R. C. dos. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais na região de Itaparica**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife. 98f.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT User's Guide, Version 9**, Cary, NC: SAS Institute Inc. 2002.

SCHREINER, H. G.; BALLONI, E. A. Consórcio das culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) no Sudeste do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.12, p.83-104, 1986.

SEDNET - European Sediment Research Network. **Sediment, a vulnerable resource that needs Europe's attention**. 6p. 2004.

SELGE, F.; GUNKEL, G. Water reservoir: worldwide distribution, morphometric characteristics and thermal stratification process. **In: GUNKEL, G.; SILVA, J.A.A.; SOBRAL, M.C.**, Sustainable management of water and land in semiarid areas. Editora Universitária, UFPE, Recife, p.15-27, 2013.

SINGH, B.P.; HATTON, B.J.; BALWANT, S.; COWIE, A.L.; KATHURIA, A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. **J. Environ. Qual.**, v.39, p.1224-1235, 2010.

SILVA, A. L.; VALVERDE, S. R.; PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. Viabilidade econômica do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijão: um estudo de caso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 527-536, 1997.

SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. L. **Economia Florestal**. Viçosa: UFV. 2002. 178 p.

SILVA, C. P. C. et al. Economic analysis of agroforestry systems with Candeia. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 585-594, 2012.

SILVA, E A. et al. Adição de água residuária de laticínio em substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Agrarian**, v. 7, p.49-59, 2014.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET). **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.931-936, 2005.

SILVA, M. L.; et al. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais com eucalipto-arroz e eucalipto-feijão no município de Divinópolis-MG, Brasil. **Revista Árvore**, v.25, n.2, p.209-216, 2001.

SILVA, R. F.; et al. Qualidade do resíduo de tanques de produção de alevinos como condicionante de solos no semiárido de Pernambuco: subsídios para gestão ambiental. **Gaia Scientia**, v.7, n.1, 2013.

SILVA, W. F.; MEDEIROS, P. R. P.; VIANA, F. G. B. **Quantificação preliminar do aporte de sedimentos no baixo São Francisco e seus principais impactos**. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2010.

SIQUEIRA, E. R. et al. Estado da arte dos Sistemas Agroflorestais no Nordeste do Brasil. **In: GAMA-RODRIGUES et al.** Sistemas Agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ. 2006, p.53-64.

SIQUEIRA FILHO, J.A., et al. A Flora das Caatingas do Rio São Francisco. In: José Alves Siqueira Filho. (Org.). A flora das Caatingas do Rio São Francisco: História natural e conservação. 1ª ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, v.1, p.446-554, 2012.

SOBRAL, M. C.; CARVALHO, R. M.C.M. O. In: **Reunião anual da rede luso brasileira de estudos ambientais**. 10. 2006, Recife. *Anais...* Recife: UFPE/TU Berlin, 2006.

SOBRAL, M. C.; CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, R. C. Environmental risk of multipurpose use of reservoir in semiarid area of São Francisco River, In: GUNKEL, G; SOBRAL, M. C. S. (ed.), Reservoir and river basin management: exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany. Berlin, Universitätsverlag der TU Berlin, p. 14-35, 2007.

SOHI, S. P.; et al. Review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. Burlington: Academic Press, p.47-82, 2010.

SOLLA-GULLON, F.; et al. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, v.237, p.312-321, 2006.

SOUZA, A. N. et al. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, Lavras, v.13, n.1, p.96-106, 2007.

SOUZA, A. R. **Procedimentos para análise física do solo**. In: FIGUEIREDO, M. V. B. Manual de práticas laboratoriais: um guia para pesquisa. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, cap. 20, p. 361-367. 2013.

SPRENT J. I. Nodulated legume trees. In: WERNER, D.; NEWTON, W.E. (Ed.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry and the environment**. Heidelberg: Springer, p.113-141, 2005.

THEODORO, S. H.; FONSECA, R. M.; BARRIGA, F. J. A. S.; MACEDO, I. L. The use of accumulated sediments in the Tucuruí and Três Marias Dams to recover degraded soils. In: GUNKEL, G; SOBRAL, M. C. S. **Reservoir and river basin management: exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany**. Berlin, Universitätsverlag der TU Berlin, p. 211-225, 2007.

THOMPSON, D.; GEORGE, B. Financial and economic evaluation of agroforestry. In: NUBERG, I. et al. **Agroforestry for natural resource management**. Collingwood: CSIRO Publishing, p.281-330, 2009.

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2004. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VARELLA, L. B.; SANTANA, A. C. de. Aspectos econômicos da produção e do risco nos sistemas agroflorestais e nos sistemas tradicionais de produção agrícola em Tomé-açu, Pará – 2001 a 2003. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.151-160, 2009.

VIEIRA, C. Cultivos consorciados. In: VIEIRA, C.; PAULA JR, T.J. de, BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, p.493-528, 2006.

VIEIRA, C. Cultivos consorciados. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, p.523-558, 1998.

WALTER, K.; GUNKEL, G.; GAMBOA, N. An assessment of sediment reuse for sediment management of Gallito Ciego Reservoir, Peru. **Research and Management**, v.17, p.301–314, 2012. Doi: 10.1111/lre.12008

WARNOCK, D. D.; et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300, p.9-20, 2007