

**JÚLIO CÉSAR SOBREIRA FERREIRA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA  
MICRORREGIÃO DE ITAPARICA, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

**RECIFE  
Pernambuco - Brasil  
Março – 2023**

**JÚLIO CÉSAR SOBREIRA FERREIRA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA  
MICRORREGIÃO DE ITAPARICA, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, Área de Concentração: Biometria e Manejo Florestal.

**Orientador:**  
**Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva**

**Coorientador:**  
**Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira**

**RECIFE**  
**Pernambuco - Brasil**  
**Março – 2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F383v Ferreira, Júlio César Sobreira  
Viabilidade técnica e econômica de sistemas agroflorestais na microrregião de Itaparica, semiárido de Pernambuco / Júlio César Sobreira Ferreira. - 2023.  
202 f. : il.
- Orientador: Jose Antonio Aleixo da Silva.  
Coorientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.  
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, 2023.
1. Eucalyptus. 2. feijão-caupi. 3. capim Tanzânia. 4. análise financeira. I. Silva, Jose Antonio Aleixo da, orient. II. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, coorient. III. Título

CDD 634.9

---

**JÚLIO CÉSAR SOBREIRA FERREIRA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA  
MICRORREGIÃO DE ITAPARICA, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Aprovada em:

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marcone Moreira Santos  
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

---

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

---

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

---

Prof. Dr. Rafael Rodolfo de Melo  
Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA

Orientador:

---

Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva  
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

**RECIFE**  
**Pernambuco - Brasil**  
**Março - 2023**

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria Lêda e Silvio  
À minha esposa Elizangela Olga e meus filhos, Hércules Augusto e Esther Lêda  
Ao meu grande amigo Luciano José

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às forças sublimes do universo, por me darem a capacidade de viver e enfrentar todos os desafios diários com garra e determinação.

À minha mãe, meu exemplo maior de vida, por nunca ter deixado de acreditar em mim, meu porto seguro para todos os momentos, por sua fé, minha gratidão e amor eterno.

Ao meu pai, meu companheiro de vida, sempre me incentivando para nunca desistir. Muito obrigado por ser fazer presente neste momento tão importante, gratidão eterna.

À minha esposa, com seu grande amor, paciência e companheirismo, ajudando-me a superar todas as adversidades desta tese, por ser a minha força nos momentos de fraqueza e meu suporte em tantas ocasiões difíceis, esta vitória também é sua, minha gratidão e amor.

Aos meus filhos, sopro de vida, que me ajudaram nos momentos mais cruciais.

Meu pequeno grande herói, Hércules Augusto, meu melhor amigo.

Minha princesa Esther Lêda, a força que eu tanto necessitava para continuar neste trabalho. Muito obrigado meus filhos, amo vocês por toda eternidade.

Ao meu grande amigo Luciano José, por toda sua ajuda incondicional e parceria nas coletas de dados para esta tese, muito obrigado por tudo, sem você, seria muito difícil.

Ao meu orientador, Prof. José Antônio Aleixo da Silva, por toda sua confiança e ensinamentos ao longo desses anos, meu muito obrigado. Ao meu Coorientador, Prof. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, gratidão.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Estação Experimental de Belém de São Francisco, em especial, a Dr<sup>a</sup> Mina, João Eloi, Vadinho e a todos os funcionários que me ajudaram na condução do experimento, meu muito obrigado.

Aos servidores do IPA- Estação sede Recife, Fabio, Marilene, Dr. Geraldo Marjella e Dr. Antônio Félix, minha gratidão.

Aos professores do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE, em especial, ao Prof. Marcone Moreira, minha gratidão.

Aos amigos da vida, que, nesta temporada aqui em Recife, foram importantes para essa vitória, Rafaella, Glauber, Dalva, Daniel, Luan e Dra. Isla, minha eterna gratidão.

Aos Familiares que me ajudaram em momentos decisivos, Tia Sandra, Tio Lamberto, Sabrina, Laís e Lucas, meu muito obrigado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES – do Ministério da Educação, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Instituto Federal do Sertão Pernambucano, *Campus* Petrolina Zona Rural, por minha liberação para cursar o doutorado, minha gratidão.

Por fim, a todos que não citei, porém participaram de alguma forma na conclusão deste grande projeto, meu muito obrigado.

Querer, poder e conseguir...

FERREIRA, JÚLIO CÉSAR SOBREIRA. Viabilidade técnica e econômica de sistemas agroflorestais na microrregião de Itaparica, semiárido de Pernambuco.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a viabilidade técnica e econômica de plantio de dois clones de eucaliptos, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* (MA 2001 e MA 2000) e duas espécies nativas da Caatinga (Angico - *Anadenanthera colubrina* var. Cebil, e Aroeira - *Myracrodruon urundeuva* Allemão), cultivadas em sistemas agroflorestais (SAF), consorciados com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e com o capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq), comparados com monocultivos, visando retorno econômico para produção de lenha na região de Itaparica, Pernambuco. O experimento foi implantado em março de 2014, numa área de 5,6 hectares, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Belém do São Francisco – Pernambuco. Foram utilizados adubos orgânicos provenientes dos resíduos de tanques de piscicultura, sedimentos do lago de Itaparica e do biocarvão, como condicionador do solo. Os plantios foram estabelecidos em dois espaçamentos: 4mx2m para as espécies arbóreas em consorciação com o feijão-caupi e com o capim Tanzânia e, em monocultivo florestal, no espaçamento 3mx2m e 4mx2m, sendo as espécies arbóreas distribuídas em 192 parcelas com 28 plantas. O delineamento experimental utilizado foi o multivariado com medidas repetidas ao longo de tempo, com quatro repetições por tratamento. A fim de avaliar o desenvolvimento e a produtividade das espécies e clones, foram avaliadas para as essências florestais 19 medições entre os fatores: Tempo; Espécies; Formas de cultivo; e Adubações. Para as culturas agrícolas, foram obtidas 16 medições para o feijão-caupi e 32 medições para o capim Tanzânia. Foi avaliada a viabilidade técnica do sistema por meio do índice de produtividade relativa e do índice de equivalência da área, bem como a viabilidade econômica, com o uso dos índices Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Razão Benefício/Custo (B/C) e Valor Esperado da Terra (VET). Os consórcios do feijão-caupi e do capim Tanzânia, com os dois clones de eucaliptos, apresentaram-se viáveis economicamente para todos os parâmetros econômicos analisados, sendo o clone MA 2001 o mais indicado na comercialização da madeira em pé para produção de lenha. Não foi recomendável economicamente a venda da madeira em pé, para produção de lenhas, das espécies nativas do Angico e da Aroeira, consorciadas e em monocultivos, aos 102 meses de idade. As receitas atribuídas pela produção das culturas agrícolas, somadas com a estimativa de venda da madeira em pé das espécies arbóreas, reduziram os custos de implantação e manutenção dos sistemas consorciados em relação aos seus respectivos monocultivo. Os adubos orgânicos provenientes do sedimento do lago de Itaparica e do resíduo dos tanques de piscicultura não diferiram estatisticamente do biocarvão e da testemunha na maior parte das medições, em relação ao volume médio das árvores. Os SAF podem ser usados como modelo de referência de produção agrícola-florestal na região de Itaparica - Pernambuco, em vista da sua confirmação de viabilidade técnica e econômica.

**Palavras-chave;** *Eucalyptus*; feijão-caupi; capim Tanzânia; análise financeira

FERREIRA, JÚLIO CÉSAR SOBREIRA. Technical and economic feasibility of agroforestry systems in the micro-region of Itaparica, semi-arid region of Pernambuco.

#### ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the technical and economic viability of two eucalyptus clones, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* (MA 2001 and MA 2000) and two species native to the Caatinga (Angico - *Anadenanthera colubrina* var. Cebil, and Aroeira - *Myracrodruon urundeuva* Allemão), cultivated in agroforestry systems (AFS), intercropped with the agricultural culture of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) and Tanzânia grass (*Panicum maximum* Jacq), compared to monocultures, aiming at economic return in estimating the sale of standing wood of tree species, for the production of firewood in the region of Itaparica, Pernambuco. The experiment was implemented in March 2014, in an area of 5.6 hectares, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the municipality of Belém do São Francisco - Pernambuco. Organic fertilizers were used from the residues of fish farming tanks, sediments of the Itaparica lake and biochar as a soil conditioner. Plantings were established in two spacings: 4mx2m for tree species and clones in intercropping with cowpea and Tanzânia grass, as well as in forest monoculture, and spacing 3mx2m for monocultures, with tree species and clones distributed in 192 plots with 28 plants. The experimental design used was multivariate with repeated measures with four replications between treatments. In order to evaluate the development and productivity of the species and clones, 19 measurements were evaluated for the forest essences among the factors (Time; Species; Cultivation methods and Fertilization). For agricultural crops, 16 measurements were obtained for cowpea and 32 measurements for Tanzânia grass. The technical viability of the system was evaluated through the relative productivity index and the area equivalence index, as well as the economic viability, using the indices Net Present Value (NPV), Equivalent Annual Value (AEV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit/Cost Ratio (B/C) and Expected Land Value (ELV). The agricultural consortium of cowpea and Tanzânia grass, with the two *Eucalyptus* clones, showed to be economically viable for the analyzed economic parameters, indicating the viability of commercialization of the standing forest for the production of firewood. It is not economically recommended to sell the standing forest of Angico and Aroeira for the production of firewood, as well as in intercropped and in monoculture. The income allocated for the production of agricultural crops, added to the estimated sale of standing forest, reduced the costs of implementing and maintaining the intercropping systems in relation to forestry monocultures. The organic fertilizers from the sediment of the lake of Itaparica and the residue of the fish farming tanks, did not differ statistically from the biochar and the control, in most of the measurements, in relation to the average volume of the trees. The AFS can be used as a reference model of agricultural-forestry production in the region of Itaparica - Pernambuco, given its confirmation of the technical and economic viability.

**Keywords:** Eucalyptus; cowpea; Tanzanian grass; Financial analysis.



## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	11
2 - OBJETIVO GERAL .....	13
2.1 – Objetivos específicos:.....	13
3- REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3.1 - Microrregião de Itaparica – Pernambuco: seus impactos sociais, econômicos e ambientais..	14
3.2 - Sistemas Agroflorestais: características e benefícios .....	15
3.3 - Sistemas Agroflorestais no Nordeste brasileiro.....	17
3.4 - Sistemas Agroflorestais: associação com espécies florestais exóticas e nativas na microrregião de Itaparica.....	20
3.5 - Sistemas Agroflorestais: culturas agrícolas e forrageiras em sistema agroflorestal na microrregião de Itaparica.....	23
3.6 - Sistemas Agroflorestais: adubação orgânica no sistema .....	25
3.6.1 - Resíduos dos tanques de piscicultura .....	26
3.6.2 - Sedimentos do reservatório de Itaparica.....	28
3.6.3 - Biocarvão.....	29
3.7 - Sistema Agroflorestais: viabilidade técnica e econômica do sistema.....	31
3.7.1 - Parâmetros da viabilidade técnica.....	32
3.7.2 - Parâmetros de viabilidade econômica.....	35
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1 - Planejamento e implantação do experimento .....	43
4.2 - Análise estatística para o crescimento das árvores e da produtividade das culturas agrícolas	48
4.3 - Produtividade das culturas agrícolas e florestais e uso eficiente da terra .....	51
4.3.1 - Índice de Produtividade relativa (IPr) .....	52
4.3.2 - Índice de equivalência da área (IEA) .....	52
4.3.3 - Média móvel simples (MMS) .....	54
4.4 - Análise da viabilidade econômica do sistema agroflorestal .....	56
4.5 - Valores dos custos e receitas da implantação e condução do projeto agroflorestal .....	58
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
5.1 - Taxa de mortalidade e sobrevivência em (%) das espécies arbóreas e ao longo do tempo ....	59
5.1.1 - Análise aos 102 meses .....	59
5.1.2 - Mortalidade ao longo do tempo .....	62
5.2 - Incrementos volumétricos das espécies arbóreas do experimento ao longo do tempo r diferentes tipos de cultivo e espaçamento.....	64
5.2.1 - Monocultivo no espaçamento 3 m x 2 m.....	64
5.2.2 - Monocultivos no espaçamento 4mx2m.....	69
5.2.3 - Cultivo em SAF com capim Tanzânia no espaçamento 4 m x 2 m .....	71

5.2.4 - Cultivo em SAF com feijão-caupi no espaçamento 4 m x 2 m .....	74
5.3 - Avaliação do crescimento das espécies arbóreas ao longo do tempo em relação ao volume médio por hectare (m <sup>3</sup> /ha) .....	76
5.3.1 - Teste de Mauchly .....	76
5.3.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses .....	77
5.3.3 - Efeito do fator tempo.....	77
5.3.4 - Efeito do fator tempo x tratamentos.....	77
5.3.5 - Efeito dos tratamentos .....	79
5.3.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para avaliar os efeitos dos tratamentos em função do tempo.....	80
5.3.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos.....	81
5.3.8 - Teste Tukey em relação ao volume médio por hectare das espécies florestais ao longo do tempo .....	81
5.6 - Avaliação do crescimento das espécies arbóreas ao longo do tempo em relação ao volume médio por hectare (m <sup>3</sup> /ha), desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m.....	89
5.6.1 - Teste de Mauchly .....	90
5.6.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses .....	90
5.6.3 - Efeito do fator tempo.....	90
5.6.4 - Efeito da interação tempo x tratamentos.....	90
5.6.5 - Efeito do fator tratamento.....	92
5.6.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para os efeitos entre os tratamentos, em função do tempo.....	93
5.6.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar o efeito entre os tratamentos.....	94
5.6.8 - Teste Tukey em relação ao volume médio por hectare das espécies florestais ao longo do tempo, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m.....	94
5.7 - Avaliação da produtividade da cultura agrícola feijão-caupi cultivado nos sistemas em SAF e no monocultivo .....	97
5.7.1 - Teste de Mauchly .....	97
5.7.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses .....	98
5.7.3 - Efeito do fator tempo.....	98
5.7.4 - Efeito da interação tempo x tratamento .....	98
5.7.5 - Efeito do fator tratamento.....	99
5.7.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para os efeitos entre os tratamentos em função do tempo.....	100
5.7.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos.....	101
5.7.8 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do feijão-caupi ao longo do tempo .....	101

5.7.9 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do feijão-caupi, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações.....	107
5.8 - Avaliação da produtividade da cultura agrícola capim Tanzânia cultivado nos sistemas em SAF e no monocultivo .....	108
5.8.1 - Teste de Mauchly .....	108
5.8.2 - Testes multivariados para as hipóteses .....	109
5.8.3 - Efeito do fator tempo.....	109
5.8.4 - Efeito do fator tempo x tratamentos.....	109
5.8.5 - Efeito do fator tratamento.....	110
5.8.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) dos tratamentos em função do tempo ...	111
5.8.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos.....	112
5.8.8 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do capim Tanzânia ao longo do tempo .....	112
5.8.9 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do capim Tanzânia, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações.....	119
5.9 – Eficiência produtiva das culturas agrícolas e florestais e aplicabilidade do índice de equivalência da área (IEA) .....	120
5.9.1 - Eficiência da produtividade relativa do feijão-caupi nos SAF .....	120
5.9.2 - Eficiência da produtividade relativa do capim Tanzânia nos SAF .....	122
5.9.3 - Índice de eficiência de área (IEA) do feijão-caupi com as culturas arbóreas nos diferentes tipos de cultivos florestais e a contribuição relativa (%) do feijão-caupi e das culturas florestais nos SAF ao longo do tempo.....	123
5.9.4 - Índice de eficiência de área (IEA) do capim Tanzânia com as culturas arbóreas nos diferentes tipos de cultivos florestais e contribuição relativa (%) do capim Tanzânia e das culturas florestais nos SAF ao longo do tempo .....	126
5.10 – Análise financeira da produção do capim Tanzânia nos diferentes sistemas de cultivo .....	129
5.11 – Análise financeira da produção do feijão-caupi nos diferentes sistemas de cultivo .....	131
5.12 - Análise econômica dos sistemas agroflorestais e seus monocultivos .....	133
5.12.1 - Sistema em monocultivo 3 m x 2 m .....	133
5.12.2 - Sistema em monocultivo 4 m x 2 m .....	140
5.12.3 - Sistema agroflorestal com o feijão-caupi em espaçamento 4 m x 2 m .....	145
5.12.4 - Sistema silvipastoril com o capim Tanzânia em espaçamento 4 m x 2 m .....	154
6 - CONCLUSÕES .....	163
7 - REFERÊNCIAS.....	166
8 - APÊNDICES .....	188
ANEXOS .....	200

## 1 - INTRODUÇÃO

A região do semiárido de Pernambuco vem sofrendo há anos com os diversos problemas atrelados à exploração desordenada dos seus recursos e nas constantes degradações ao meio ambiente, mediante a sua forma tradicional de produção agrícola. Neste contexto, muitos estudos e pesquisas são desenvolvidos para encontrar um meio alternativo de produção com menor impacto ambiental e social. Os sistemas agroflorestais (SAF) se inserem bem neste contexto, agregando vantagens econômicas na sua elaboração e condução, principalmente em regiões com crescente relevância social e de maior potencialidade de desenvolvimento agroflorestal.

A microrregião de Itaparica – Pernambuco – passou por diversas transformações ambientais nas últimas décadas, com a construção do seu reservatório hídrico, entre os anos de 1979 e 1988. Foram inundadas diversas cidades às suas margens e, como consequências, elas foram realocadas em novas áreas, no entorno do reservatório. Nas realocações, foram criados assentamentos rurais, nos quais foram incluídos diversos projetos de irrigação para produção agrícola dos assentados.

No entanto, vários questionamentos foram inicialmente abordados ao longo dos anos sobre como seria feito o aproveitamento efetivo da terra com os agricultores locais. A indicação do tipo de culturas agrícolas a qual deveriam ser exploradas nessas novas áreas disponibilizadas e da sua forma de cultivo mais eficaz também foram avaliadas. Contudo, as práticas inadequadas das técnicas de irrigação, até por desconhecimento dos agricultores que não tiveram uma assistência técnica efetiva, elevou-se os lençóis freáticos em várias áreas causando encharcamentos, por falta de drenagem, resultando em salinização e redução da capacidade produtiva dos solos.

Neste cenário, uma possível alternativa para atenuar os vários problemas ambientais é o plantio de florestas de rápido crescimento em pequenas propriedades rurais, em modelos de sistemas agroflorestais (SAF). Essa forma de cultivo, que possibilita integrar diferentes tecnologias no manejo sustentável do solo, mediante a associação de plantios de essências florestais com culturas agrícolas ou atividades pecuárias, possibilita um meio alternativo de uso da terra pelo pequeno produtor rural, reduzindo a probabilidade dos diversos riscos inerentes aos monocultivos tradicionais.

No entanto, como qualquer atividade agrícola e florestal, os sistemas agroflorestais tendem a correr sérios riscos quando utilizados sem conhecimento técnico e sem um planejamento adequado na sua implantação e condução. As diversas características complexas e peculiares destes sistemas, podem gerar dúvidas de como obter um maior retorno financeiro, com a menor probabilidade de prejuízo. É neste contexto que os SAF necessitam ser bem avaliados, tanto tecnicamente como economicamente, para assim poder definir a melhor forma de produção.

Diante destes fatos mencionados, a demanda por resultados nesta pesquisa experimental é de extrema relevância para os produtores rurais locais, principalmente os pequenos produtores, pois servirá como modelo de referência da aplicabilidade, técnica e econômica, efetiva de sistemas agroflorestais, utilizando-se de espécies nativas da Caatinga e de espécies florestais de rápido crescimento, aptas a serem utilizadas em regiões semiáridas, associadas a culturas agrícolas de subsistência, com uso alternativo de fertilizantes de baixo custo e de fácil acesso.

## 2 - OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica e econômica de essências florestais cultivadas em sistemas agroflorestais, consorciadas à cultura agrícola do feijão-caupi e do capim Tanzânia, comparadas às de monocultivos, na região de Itaparica, Pernambuco.

### 2.1 – Objetivos específicos:

- analisar o crescimento em volume das espécies arbóreas cultivadas em monocultivos e em sistemas agroflorestais, mediante o uso de adubações orgânicas e condicionador de solo;
- avaliar a produtividade das culturas agrícolas do feijão-caupi e do capim Tanzânia em sistemas de monocultivo e consorciados a espécies florestais, com o uso de adubação orgânica e condicionador de solo;
- avaliar a viabilidade técnica dos sistemas, mediante o uso do índice de eficiência de produtividade das culturas agrícolas, juntamente com o índice de equivalência de área e sua contribuição relativa em função dos consórcios florestais;
- verificar a rentabilidade e viabilidade econômica dos plantios agroflorestais e em monocultivo, com o auxílio do uso de parâmetros financeiros.

### 3- REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 - Microrregião de Itaparica – Pernambuco: seus impactos sociais, econômicos e ambientais

A microrregião de Itaparica faz parte de uma importante zona fisiográfica brasileira, denominada de Submédio do São Francisco. Nesta região, uma extensa área territorial foi inundada, decorrente da construção da Hidroelétrica de Itaparica (RODORFF *et al.*, 2015).

Sendo uma microrregião em que sempre predominou a agricultura de subsistência, praticada, basicamente, por pequenos proprietários, posseiros e meeiros, essa área passou por transformações radicais no final da década de 1980, com o início da cheia do seu reservatório (MELO, 2007).

Segundo Ferreira Irmão *et al.* (2013), essa microrregião foi transformada com o estabelecimento da agricultura irrigada, voltada, principalmente, para a produção de culturas agrícolas de consumo próprio pelos agricultores locais e no abastecimento das áreas urbanas. No entanto, mesmo com a implantação de projetos de irrigação e de construções de vilas e assentamentos rurais, promovidos pela CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) para compensação das áreas inundadas, tem-se verificado uma série de problemas socioambientais decorrentes do uso descontrolado das margens do lago para atividades agrícolas, utilizando-se, ainda, de agroquímicos (inseticidas, fungicidas, herbicidas e adubos inorgânicos) na sua agricultura irrigada (MELO, 2007; ARAÚJO, 2017).

Se por um lado o reservatório trouxe novas perspectivas de negócios para as populações locais, por outro, ocasionou sérios problemas de ordem ambiental, principalmente com a retirada de grande parte da vegetação nativa da região, causando diminuição da capacidade produtiva do solo, perda da biodiversidade, eutrofização e diminuição da qualidade das águas, aparecimentos de espécies indesejáveis, como cianobactérias, e aumento de emissão de gases de efeito estufa (GUNKEL; SOBRAL, 2013; SELGE; GUNKEL, 2013).

Essa problemática ocasionou um grande desafio para os agricultores locais, de encontrar novos meios de produção agrícola em terras potencialmente produtivas e aptas à irrigação, reduzindo desta forma, as inseguranças que acompanharam, durante anos, os reassentados nas suas vulnerabilidades ao se deparar forçadamente com uma nova realidade local (SCOTT, 2006). É neste ponto crucial que os sistemas

agroflorestais (SAF) se apresentam como uma alternativa de produção agrícola-florestal sustentável para a microrregião de Itaparica, com todos os seus benefícios intrínsecos, associado ao uso eficiente da terra pelo sistema.

Os SAF tendem a ser um meio de produção que visa atender, de forma conjunta, às demandas agrícolas existentes na região, da necessidade de madeira para os diversos fins de utilização, reduzindo, deste modo, a pressão sobre a vegetação nativa e, principalmente, buscando corrigir uma problemática socioambiental antiga, que tem seus reflexos negativos ainda presentes na atualidade.

Fica evidenciado que as pequenas propriedades rurais, afetadas pelas consequências da construção da hidrelétrica, foram as que mais sofreram com seus respectivos impactos adversos, conseqüentemente, necessitando de maior atenção na busca de soluções e, respectivamente, de possíveis modelos alternativos de produção agrícola acessíveis e eficazes, que visem suprir as necessidades básicas locais. Caracterizam-se tecnicamente como pequenas propriedades rurais, as áreas que, segundo a Lei nº 8.629 de 1993 (BRASIL, 1993), são compreendidas entre 1 a 4 módulos fiscais.

O termo módulo fiscal, na caracterização das propriedades rurais, foi estabelecido na Lei nº 6.746/1979, a fim de regulamentar todos os bens imóveis rurais, com a finalidade de possibilitar a execução da Reforma Agrária e promover a Política Agrícola Brasileira (BRASIL, 1979). O tamanho de cada módulo fiscal se altera conforme as características de cada município ou microrregião. No caso específico da microrregião de Itaparica, o módulo fiscal varia entre 55 a 65 hectares (LANDAU *et al.*, 2012).

Diante desse contexto, a fim de possibilitar uma alternativa de produção agrícola-florestal ao público-alvo dessa microrregião, que é o produtor de pequenas propriedades rurais, os sistemas agroflorestais tendem a ser uma opção promissora a ser desenvolvida.

### 3.2 - Sistemas Agroflorestais: características e benefícios

Quando se trata de sistemas agroflorestais, logo vem a ideia de um sistema alternativo, ecológico e sustentável, quando comparados aos monocultivos tradicionais. No entanto, os SAF se propõem a algo muito maior, principalmente



quando implantados em pequenas propriedades rurais. De acordo com Abdo, Valeri e Martins (2008), uma característica simplificada de uma pequena propriedade rural é quando, em sua área, desenvolve-se o seu cultivo agrícola por meio do trabalho humano, proveniente dos membros familiares do agricultor. É neste cenário que os SAF desempenham papel crucial em sua implantação, pois é nas pequenas propriedades que, segundo Santos e Paiva (2002), o sistema pode proporcionar soluções viáveis a diferentes problemas econômicos, sociais e ambientais, encontrados constantemente nesses locais, devido aos diversos fatores específicos que atuam entre si.

No entanto, para que o pequeno produtor rural estabeleça um SAF em sua propriedade, o mesmo deve ter exemplos que demonstrem com resultados promissores a eficiência do sistema, obtidos por meio de modelos de SAF implementados na mesma microrregião ou em condições semelhantes, possibilitando, assim, a correta escolha das espécies vegetais a serem cultivadas e do modelo mais adequado em relação à composição do seu arranjo. É importante também levar em conta, sempre, as necessidades do mercado local e de sua viabilidade econômica, visto que essa produção deve ser de fácil comercialização (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008).

Os sistemas agroflorestais se referem, basicamente, ao uso da terra e do manejo dos recursos naturais pela inserção de espécies lenhosas (árvores e/ou arbustos), nativas ou exóticas, associadas com cultivos agrícolas e/ou animais, na mesma área, de maneira simultânea ou de uma forma sequencial, conforme Nair (1993). É um termo relativamente recente, numa perspectiva temporal, porém, advindo de práticas bastante antigas, desenvolvidas principalmente por comunidades tradicionais em várias partes do mundo, especialmente nos trópicos.

Diferentes dos monocultivos tradicionais, que, dependendo da forma como são conduzidos, podem gerar sérios problemas ao solo e a todo o sistema biótico e abiótico o envolve, os SAF's podem constituir uma opção de produção agrícola mais adequada com a preservação ambiental, visto que o manejo dos cultivos é feito em harmonia com seus componentes, criando-se um ambiente que sustenta uma maior diversidade de espécies. Além disto, os SAF podem gerar renda extra ao proporcionar serviços e bens de consumo para os agricultores familiares, garantindo a eficiência da unidade produtiva, principalmente em regiões carentes de recursos (GEMIM *et al.*, 2017).

Outros benefícios atribuídos à introdução dos SAF, em substituição à monocultura, são bens diretos e indiretos, conhecidos como serviços da floresta, destacando-se, entre eles: otimização de uso do solo, produção de madeira para o próprio uso na propriedade rural ou para venda, acúmulo de capital em forma de poupança verde, conservação do solo e da água pela redução da erosão, redução da poluição do ar, controle de enchentes, controle de plantas invasoras, criação de microclima para plantas e animais e, conseqüentemente, aumento da biodiversidade, polinização, aproveitamento de mão de obra familiar ociosa, aumento da renda líquida por unidade de área, diversificação da produção, redução dos custos de implantação e manutenção dos povoamentos florestais pelo retorno de receita proveniente das culturas agrícolas ou forrageiras, recuperação de áreas degradadas, melhoria do valor nutritivo do pasto, sequestro de carbono, e, principalmente, diminuição da pressão sobre florestas nativas em função da oferta de madeira no menor espaço de tempo (GERMER; SAUERBORN, 2008; SILVA, 2008/2009; MACEDO *et al.*, 2010).

Para compreender como os sistemas agroflorestais atuam na dinâmica dos seus componentes, faz-se necessário classificá-los conforme suas especificações, porém, a categorização dos SAF se evidencia como um trabalho complexo e peculiar, devido às possíveis variedades de propostas e critérios que podem ser adotadas na sua implantação com os seus respectivos objetivos. No entanto, de forma simplificada e direta, os SAF podem ser classificados, de acordo com a suas estruturas e seus aspectos funcionais, em: sistemas **agrossilviculturais** ou **silviagrícolas** (associação de florestas + culturas agrícolas), **silvipastoris** (associação de florestas + forrageiras, incluindo, direta ou indiretamente, os animais no sistema) e **agrossilvipastoris** (associação de florestas + culturas agrícolas + forragem, incluindo, direta ou indiretamente, animais no sistema) (NAIR, 1993; MICCOLIS *et al.*, 2016).

### 3.3 - Sistemas Agroflorestais no Nordeste brasileiro

A região do Nordeste brasileiro apresenta uma heterogeneidade de características edafoclimáticas que possibilitam diferentes formas de utilização do uso da terra para a produção agrícola e seus diversos fins. Abrangendo uma população estimada em mais de 57 milhões de habitantes (IBGE, 2020), com cerca de 900 mil km<sup>2</sup> e 13% do território nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2015), essa região apresenta sérios problemas estruturais quanto à sustentabilidade dos seus sistemas de produção

agrícola, tanto para alimentos, por meio da agricultura convencional, quanto na exploração da vegetação arbóreo arbustiva, para obtenção de produtos madeireiros.

Problemas semelhantes a esses fatos são encontrados no Polo Gesseiro do Araripe, localizado no extremo oeste de Pernambuco, que tem como principal meio econômico a produção do gesso, utilizando-se da lenha como a principal fonte energética no seu processo produtivo. No entanto, segundo Gadelha *et al.* (2015), geralmente, essa lenha é proveniente da Caatinga, que, por sua vez, não tem capacidade de suporte para todas as necessidades da indústria local, devido ao baixo incremento médio anual (IMA) das espécies arbóreas. Em concordância a esse problema, o número de planos de manejo sustentáveis, aprovados pelo IBAMA e CPRH, é insuficiente na região, sendo desmatadas áreas além da capacidade de regeneração sustentável da vegetação originária.

De acordo com Castro (2012), devido aos constantes efeitos negativos do clima dominante em grande parte da região Nordeste, que acarretam secas prolongadas, ocasionam, em muitos casos específicos, dificuldades de manutenção em suas atividades agrícolas, bem como no seu desenvolvimento, tendo como consequências graves o desgaste do solo e impacto sobre a qualidade das águas, como também na diminuição da biodiversidade das espécies.

Diante desta problemática, alternativas ambientais, sociais e econômicas na exploração e uso da terra para produção de alimentos e seus derivados são de extrema importância e, dentre essas possíveis alternativas disponíveis ao produtor rural nordestino, estão os sistemas agroflorestais (SAF).

Gonçalves (2019), trabalhando na perspectiva de compreender qual seria a visão dos agricultores familiares no município de Bonito – PE, sobre os saberes populares e ecológico envolvidos no manejo de sistemas agroflorestais, visando contribuir para o processo de mudança da agricultura convencional praticada pela comunidade, concluiu que os conhecimentos usuais sobre as espécies florestais e seus respectivos usos são ferramentas importantes que devem ser resgatadas e valorizadas para o fortalecimento do processo de mudança e da construção do conhecimento com as comunidades rurais. Angelim *et al.* (2020) observou, também, que os sistemas agroflorestais praticados pelos agricultores da região do semiárido do Ceará, mediante seus próprios conhecimentos, proporcionam segurança alimentar e nutricional em períodos graves de estiagem na região.

No entanto, associados aos conhecimentos locais, a necessidade de uma assistência técnica específica possibilita a contribuição da difusão das práticas agroflorestais, tornando-as mais eficientes e atraentes aos agricultores e produtores rurais do Nordeste. É exemplo, o trabalho desenvolvido por Santana (2018), no qual percebeu que a carência de uma assistência técnica eficaz, associada à falta de políticas públicas, proporciona barreiras para mudanças nos sistemas de uso da terra para produção agrícola e florestal ecologicamente sustentáveis, como seria num modelo de um sistema agroflorestal. Este fato fica evidenciado tanto para produtores rurais quanto para os gestores públicos, que, muitas vezes, motivados pela cultura do homem, comprovada pela falta de consciência de “educação” ambiental, degradam os ecossistemas locais por meio de suas produções agrícolas convencionais.

Diferentes temáticas são abordadas na utilização de sistemas agroflorestais nos últimos anos no Nordeste brasileiro. Cada pesquisa, e seus resultados, é um passo a mais na consolidação desse tipo de manejo, que envolve diferentes possibilidades de interação entre espécies vegetais e/ou animais.

Na região do Sertão Pernambucano, cidade de Belém de São Francisco, um projeto pioneiro e inovador vem sendo desenvolvido. Uma parceria entre a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) vem estudando a implantação de sistemas agroflorestais na região, indicando uma possibilidade de produção racional e econômica dos recursos florestais e agrícolas para o pequeno produtor rural local (SANTOS, 2016; MOREIRA, 2018).

Fernandes *et al.* (2018) propuseram avaliar o estoque de carbono em diferentes desenhos de sistemas agroflorestais biodiversos na região da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratigi, Bahia. Os autores concluíram que os desenhos com ocorrência de maior densidade relativa de espécies arbóreas, principalmente pela riqueza e diversidade de espécies, nas fases iniciais de implantação dos SAF, possibilitavam um maior armazenamento de carbono em suas áreas, aumentando a produtividade das essências cultivadas nos consórcios.

Almeida *et al.* (2006) constataram a potencialidade e aceitabilidade para implantação de sistemas agroflorestais entre os agricultores do agreste e sertão pernambucanos, mostrando que esse sistema de cultivo diversificado possibilitaria o aumento real da renda líquida para os agricultores locais.

Oliveira (2016) propôs avaliar um sistema agroflorestal com espécies florestais nativas da caatinga, consorciadas com o feijão-caupi, em Mossoró – RN,

obtendo-se, como um dos resultados, vantagens econômicas na comercialização dos produtos agrícolas consorciados, sem comprometer o desenvolvimento das espécies arbóreas.

Araújo *et al.* (2018) realizaram a análise econômica de sistemas silvipastoris, em diferentes densidades de plantio florestal, associados à monocultura de gramíneas (MC), durante os períodos chuvoso (PC) e seco (PS), na região pré-amazônica maranhense. Os autores concluíram que todos os sistemas analisados tiveram um desempenho econômico eficiente, ou seja, todos viáveis economicamente para a região. Porém, nos sistemas consorciados, os valores dos parâmetros econômicos foram superiores aos do monocultivo, reforçando economicamente a eficiência do sistema SAF, quando comparado ao modo tradicional de cultivo.

Percebe-se que os sistemas agroflorestais, mesmo sendo uma técnica milenar, ainda se mostram bastante relevantes quanto à variedade de pesquisas científicas que vêm sendo desenvolvidas. Isto é um resultado promissor, principalmente para a região Nordeste do Brasil, que se caracteriza como uma região rica em biodiversidade, mostrando-se capaz de promover a convivência sustentável no uso dos recursos florestais associados às culturas agrícolas e/ou pecuárias.

#### 3.4 - Sistemas Agroflorestais: associação com espécies florestais exóticas e nativas na microrregião de Itaparica

As decisões na seleção das essências florestais que devem fazer parte de um SAF ocorrem na perspectiva de uso futuro das mesmas pelas comunidades locais, mediante aos produtos gerados pelas espécies dentro do sistema. Analisando-se os aspectos das características regionais da microrregião de Itaparica, verifica-se que as necessidades básicas atribuídas ao uso das florestas é a lenha para geração de energia, sendo esse seu principal atributo.

Dentre as várias opções de essências florestais que podem ser utilizadas nos SAF's, os eucaliptos se destacam como a melhor alternativa de escolha. Tal fato pode ser evidenciado devido ao seu grande número de espécies disponíveis e à extensa variedade de híbridos interespecíficos, possibilitando, assim, uma maior adaptabilidade às diferentes condições edafoclimática existentes no Brasil (FERREIRA *et al.*, 2019). Segundo Ribaski (1994) e Silva (2009), em condições semiáridas, algumas espécies do gênero podem alcançar uma produtividade quatro vezes maior que a da vegetação nativa, atenuando, muitas vezes, o processo de

devastação por meio da oferta de volumes de madeira superiores em um curto espaço de tempo.

O gênero *Eucalyptus* pertence à família da Mirtaceae e detém mais de 700 espécies já catalogadas. É um gênero de grande plasticidade e de dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando as do local de origem, a Austrália (SANTOS *et al.*, 2019). De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022), o Brasil tem mais de 9,93 milhões de hectares de florestas plantadas, nos quais só os eucaliptos representam mais de 7,53 milhões de hectares, enquanto o *Pinus* corresponde a 1,93 milhão de hectares e as demais espécies, 475 mil hectares. As árvores de eucaliptos mais antigas do País são das espécies *E. robusta* e *E. tereticornis*, que foram plantadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em 1825, pelo Imperador D. Pedro I (FOELKEL, 2005).

Os principais fatores que contribuem para o incentivo ao plantio de eucaliptos no mundo são o seu rápido crescimento, os diversos usos de sua madeira (lenha, estacas, papel, madeira para embalagem e construção civil) e a grande capacidade de adaptação aos mais diversos ambientes (HARRISON *et al.*, 2000; BINKLEY; STAPE, 2004).

As florestas plantadas de eucaliptos têm grande importância como cadeia produtiva do agronegócio no Brasil. Nos últimos anos, o crescimento da área de eucalipto no País foi de mais de 1,9% ao ano, tendo uma participação, em 2021, em mais de 20,5% do PIB nacional, que, quando comparadas aos demais setores econômicos, como a agropecuária, ramos de serviços e a indústria em geral, as florestas plantadas, principalmente as do gênero *Eucalyptus*, mostram-se superiores aos demais setores do Brasil (IBÁ, 2022).

Entretanto, para os pequenos produtores rurais, os custos de uma implantação de povoamento florestal de eucaliptos são elevados, tendo como alternativa, para minimização de tais custos, a implantação de espécies agrícolas ou forrageiras em forma de consórcios, permitindo a esses pequenos produtores a associação de suas produções de ciclos curtos com uma espécie florestal favorável a um bom retorno econômico, mediante o valor de mercado da venda da madeira. Desta forma, o gênero *Eucalyptus* é uma indicação satisfatória no uso em consórcios na região em que esta pesquisa está sendo desenvolvida.

Já as essências nativas, mesmo com incrementos médios anuais (IMA) inferiores aos das florestas de rápido crescimento, como as dos eucaliptos,

apresentam a vantagem de serem perfeitamente adaptáveis às condições ambientais da região. Entre as essências nativas, o Angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan) e a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) merecem destaque por suas amplas distribuições espaciais no domínio fitogeográfico da Caatinga.

O Angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan) é uma Fabaceae arbórea, podendo atingir 20 metros de altura, decíduo, heliófilo, pioneiro, com distribuição autocórica, tendo uma ampla distribuição espacial da espécie, podendo ser encontrado naturalmente no domínio fitogeográfico da Caatinga, como também em diferentes regiões do Brasil, Peru, Bolívia, Paraguai e Argentina. Sua madeira é considerada dura e densa e pode ser utilizada em diversos fins, principalmente como lenha para energia. Sua casca também concentra grande quantidade de taninos, os quais possibilitam seu uso em diversos ramos farmacêuticos e industriais (RIZZINI, 1995; CARVALHO, 1994; SIQUEIRA FILHO *et al.*, 2012). Esta espécie apresenta como característica fundamental sua rápida germinação, principalmente em ambientes com solos considerados pobres, favorecendo sua alta adaptabilidade a plantios diretos, sem um tratamento prévio do ambiente, devido, basicamente, a sua rusticidade. Outra configuração possível de semeio do Angico é plantar em faixas abertas na vegetação pré-existente, visando garantir o enriquecimento vegetativo rápido do ambiente. Uma importante característica que o Angico apresenta, que favorece sua indicação para uso em sistemas agroflorestais, é a sua rápida regeneração após o corte, possibilitando redução de custos nas reformas do povoamento florestal (CARVALHO, 1994; SIQUEIRA FILHO *et al.*, 2012).

A Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), também conhecida como Aroeira-preta, Aroeira-do-sertão, Uriunduba, Aroeira-do-campo ou Aroeira-da-serra, é uma espécie nativa da Caatinga e do Cerrado, pertencente à família Anacardiaceae, com um porte muito variável, podendo atingir até 15 m de altura (RIZZINI, 1995). Considerada como um importante componente da vegetação arbórea da Caatinga (PRADO; GIBBS, 1993), por ser considerada vulnerável, está incluída na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais, devido a sua exploração totalmente desordenada (MENDONÇA; LINS, 2000). A principal razão da superexploração é a resistência atribuída a sua madeira e utilização para diversos fins econômicos, como dormentes para cercas e linhas férreas, postes, na construção civil, na confecção de móveis de luxo e de adornos torneados (ALMEIDA *et al.*, 1998). Outros elementos indicativos do

elevado potencial socioeconômico desta espécie são: a utilização dos seus frutos nas ciências farmacêuticas e da sua madeira como fonte energética (lenha) (MEDEIROS *et al.* 2000). Neste contexto, Nunes *et al.* (2008) apontam que a criação de ações para preservação, manejo e restauração das populações desta espécie florestal, no seu ambiente natural, são essenciais e vitais.

### 3.5 - Sistemas Agroflorestais: culturas agrícolas e forrageiras em sistema agroflorestal na microrregião de Itaparica

Para se compor as culturas agrícolas e forrageiras que podem fazer parte de um sistema agroflorestal, deve-se, inicialmente, observar e considerar as necessidades básicas do pequeno produtor local que manejará o sistema, sempre atendendo às características observadas *in loco* no diagnóstico prévio, levando-se em conta o forte apelo da região para comercialização local dos seus produtos, mediante as culturas agrícolas cultivadas no sistema (LOBO *et al.*, 2021).

Dentre as possíveis culturas agrícolas de subsistência que podem fazer parte inicialmente de um sistema SAF, na microrregião de Itaparica, destaca-se a cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

O feijão-caupi ou de corda é uma espécie da família Fabaceae, que produz frutos do tipo vargem e, dependendo da variedade, pode apresentar variações em seu porte. É uma cultura de origem africana, cuja introdução no Brasil ocorreu na segunda metade do século XVI, pelos colonizadores portugueses, no estado da Bahia (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Sendo o feijão uma das culturas agrícolas mais utilizadas em consórcios com outras culturas, incluindo eucaliptos, está leguminosa apresenta diversas vantagens que favorecem a sua escolha, tais como: curto ciclo de rotação, podendo ser plantada em diferentes épocas do ano, tolerante a competições com outras culturas consorciadas, preço de mercado relativamente estável, além do que, o feijão é considerado como um dos alimentos básicos do povo brasileiro (MACEDO *et al.*, 2010).

O feijão-caupi, por ser uma leguminosa e fixadora de nitrogênio, contribui de forma significativa para o enriquecimento nutricional do solo, porém segundo Macedo *et al.* (2010), a grande vantagem do consórcio do feijoeiro, nas linhas de plantio florestal, é a sua rápida cobertura do solo, impedindo o crescimento de plantas daninhas, que por ventura, poderiam prejudicar a cultura principal, por meio da competição por nutrientes. Essa vantagem do feijoeiro, cultivado em ambientes



florestais, também influencia na redução de mão de obra, nas manutenções periódicas do manejo do sistema, por meio da diminuição de capinas manuais.

As árvores também têm papel relevante na sua relação interespecífica positiva entre as espécies no consórcio com o feijão. Os eucaliptos, por terem raízes profundas, conseguem captar os nutrientes alocados no subsolo e, por meio da sua ciclagem natural, devolvem os nutrientes às camadas superficiais do solo, através do material vegetal depositado pela decomposição microbiana da serapilheira (VEZZANI *et al.*, 2001; COELHO *et al.*, 2007).

O Angico também tem papel bastante relevante no sistema agroflorestal com a cultura do feijão, uma vez que a espécie aumenta significativamente os teores nutricionais no solo, especificamente os teores de nitrogênio, por meio da deposição bastante acentuada de serapilheira (MARTINS *et al.*, 2018).

Já a espécie nativa da Aroeira, por ter seu crescimento lento, possibilita maior entrada de luz entre as linhas de plantio, favorecendo, assim, o desenvolvimento e crescimento da cultura agrícola, contribuindo de forma significativa na associação com o feijoeiro (MOREIRA, 2018).

Desta forma, a implantação de sistemas agrossilviculturais com a espécie de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma opção viável para a região de Itaparica, uma vez que, no Norte e Nordeste do Brasil, o feijão-caupi tem alta representatividade em relação às áreas semeadas com feijão. Das regiões brasileiras, o Nordeste é a que mais emprega recursos financeiros da renda familiar com o feijão-caupi, destacando-se em produção e consumo, principalmente na zona rural (COSTA, 2020).

Em relação às espécies forrageiras, o capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) se sobressai na seleção para consórcios em SAF, na região semiárida de Pernambuco. É uma gramínea de origem africana da família Poaceae, que pode atingir até 1,50 m de altura, com uma produção forrageira três vezes maior do que a do Capim-colonião, sendo considerada uma das gramíneas mais difundidas do Brasil, principalmente em regiões como o Nordeste (SORIA, 2002).

Este destaque do capim Tanzânia é devido a sua relevante tolerância à seca, característica que pode atenuar um dos problemas mais recorrentes na região, que é a falta de alimento para os animais locais, em razão das fortes estiagens que assolam constantemente o semiárido. Devido a este fato, grande parte dos rebanhos de caprinos e, principalmente, bovinos da localidade sofre com a indisponibilidade de

pasto com teor nutricional adequado em períodos severos de seca, levando, em muitos casos, à desnutrição dos animais e até a morte, ocasionado sérios prejuízos financeiros ao pequeno produtor (SANTOS; SOUZA, 2016). Outro ponto a ser considerado no uso do capim Tanzânia em SAF é a sua relação com a redução dos danos à vegetação local, visto que, na região de Itaparica, predomina a criação de caprinos, que são considerados como devastadores da vegetação nativa, principalmente pela falta de alimento, pois são criados de forma extensiva e se alimentam de folhas de árvores e de brotações, gerando problemas na regeneração de espécies da Caatinga.

Uma das características que deve ser levada em consideração na escolha das essências arbóreas para o cultivo em consórcio com o capim Tanzânia é que as mesmas devem apresentar crescimento rápido, a fim de evitar frustrações na expectativa de retorno econômico, quanto ao tempo de quantificar os benefícios diretos e indiretos do sistema. Outro ponto bastante relevante é que as espécies arbóreas que irão compor o consórcio apresentem raízes profundas, a fim de evitar competição entre as árvores e o pasto por umidade e nutrientes (FRANKE; FURTADO, 2001). Neste ponto, os clones de eucaliptos desempenham bem esta função, pois, por meio da serrapilheira, conseguem promover a nutrição que a forragem necessita. Outra espécie que se apresenta neste consórcio com característica promissora de sustentabilidade na consorciação com a forrageira é o Angico, visto a sua capacidade de incorporação de nitrogênio ao solo, acelerando, assim, a ciclagem de nutrientes e reduzindo possíveis custos com fertilizantes nitrogenados (SOUZA *et al.*, 2012).

### 3.6 - Sistemas Agroflorestais: adubação orgânica no sistema

O solo desempenha papel vital para o desenvolvimento das plantas e é nele que estão contidos os macros e micro nutrientes que serão disponibilizados ao longo do tempo como suprimentos às espécies vegetais. Porém, muitas das vezes, esses nutrientes, quando não repostos pelas próprias plantas, por meio da serrapilheira, perdem-se no solo de forma natural ou por práticas de manejos de solo de forma errônea, que propicia o empobrecimento nutricional do solo, necessitando da introdução externa de insumos agrícolas para repor as necessidades nutricionais básicas para as plantas.

No entanto, o emprego de insumos agrícolas, na maioria das vezes, não é praticado por falta de recursos dos pequenos produtores rurais. A possibilidade do uso de fertilizantes orgânicos e condicionadores de nutrientes em solos nos sistemas agroflorestais é uma alternativa complementar que tende a adicionar diferentes vantagens ao desenvolvimento das culturas agrícolas e florestais dentro dos sistemas consorciados. Além de tudo, é um agregador econômico dentro de todo o sistema, visto que o produtor pode ter acesso aos mesmos com baixo custo de aquisição e de fácil obtenção.

### 3.6.1 - Resíduos dos tanques de piscicultura

No final do século passado, iniciou-se a indústria da piscicultura no entorno dos reservatórios do rio São Francisco, principalmente com a produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*). Com a construção desses reservatórios, a disponibilidade hídrica para as populações do entorno passou a ser maior e, com isso, a indústria da piscicultura se tornou mais uma alternativa de fonte de recursos econômicos na região (GUNKEL *et al.*, 2013).

Esses empreendimentos produzem significantes quantidades de fósforo total (14,8 kg), nitrogênio total (40 kg) e uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 152 kg por tonelada de tilápia produzida (BOCK *et al.*, 2006; GUNKEL *et al.*, 2013). Durante o processo de crescimento dos peixes, grandes doses de rações são usadas nos tanques, com quantidade aproximada de 1,6 tonelada de ração por tonelada de tilápia produzida. Essas rações utilizadas na alimentação dos peixes são extremamente ricas em Fósforo e Nitrogênio, numa concentração equivalente a 11% (P) e 14,8% (N), (GUO; LI, 2003; BOCK *et al.*, 2006).

Segundo Moura, Lopes e Henry-Silva (2014), o principal problema para os cultivos de tilápia em tanques-redes é a grande quantidade de dejetos orgânicos que são lançados diretamente no meio ambiente, gerando-se resíduos, que, associados aos excrementos dos peixes, são acumulados nos leitos desses tanques, provocando eutrofização das águas. Periodicamente, esses resíduos são retirados para que os tanques voltem a ser usados na piscicultura. Geralmente, esses resíduos são descartados em áreas abandonadas e, às vezes, jogados no próprio reservatório, apenas modificando o problema, quando poderiam ser reutilizados como fertilizantes, devido a sua alta composição em matéria orgânica.

A matéria orgânica é um componente indispensável na capacidade produtiva dos solos, tendo como função básica favorecer a atividade da biomassa microbiana, como também aumentar a capacidade de retenção de água, aeração do solo e a capacidade de estabilização dos nutrientes, para que as plantas consigam captá-la de forma mais eficaz (SALTON *et al.*, 2005).

Silva (2017), analisando as caracterizações físicas e químicas dos resíduos decorrentes da criação de alevinos, na região semiárida de Pernambuco, observando os padrões da relação carbono/nitrogênio e dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio), verificou que os resíduos dos tanques proporcionam maiores valores desses nutrientes, principalmente em K e Mg, chegando a ter 2,5 a 5 vezes mais K e 2 a 4 vezes mais Mg, quando comparados a de esterco de animais (bovino, avícola e suíno). Em relação ao Carbono/Nitrogênio (C/N), o autor constatou que o resíduo da matéria orgânica proveniente dos tanques de piscicultura possui alta capacidade de mineralização dos nutrientes, disponibilizando-os mais rapidamente para as plantas.

Como visto, os macronutrientes presentes neste tipo de adubo orgânico, principalmente o N e P, têm papel essencial e vital para o desenvolvimento dos vegetais. Segundo Vieira *et al.* (2011), o nitrogênio é um dos nutrientes mais requerido pelas plantas em grandes quantidades, sendo ele o que mais proporciona contribuição para o acréscimo de biomassa das árvores. No solo, a matéria orgânica constitui a principal fonte de nitrogênio para as plantas e sua absorção ocorre principalmente na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) como componente da clorofila, tendo sua maior importância nos processos fisiológicos vitais, como a fotossíntese, respiração e diferenciação celular (CAIONE *et al.*, 2012).

Já o fósforo (P), segundo Schumacher *et al.* (2004) e Vieira *et al.* (2011), é um dos macronutrientes de menor exigibilidade em quantidade pelas plantas, no entanto, tem papel fundamental na estimulação do crescimento das raízes e, na sua ausência, as plantas não conseguem completar seu ciclo de vida, sendo o mesmo insubstituível por outro elemento. Porém, as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total disponível, visto que, na maioria dos solos tropicais ricos em ferro e alumínio, ocorre a adsorção do mesmo. Diferentes fatores afetam a sua adsorção, o mais relevante é a quantidade de argilominerais 1:1 e do óxido ferroso, ou seja, solos argilosos e velhos tendem a aumentar sua capacidade de adsorvê-los com mais força. Outro fator relevante é o pH, quanto mais ácido, maior será a adsorção. A matéria

orgânica funciona como uma alternativa para tentar diminuir a capacidade de adsorção do fósforo no solo e, assim, disponibilizá-lo para as plantas (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008)

O potássio é o nutriente que interfere diretamente na dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos, fazendo seu suplemento ou carência, influencia no controle sobre a perda de água por meio da transpiração, como também tem interferência direta na ativação de enzimas, na síntese de proteínas, na transposição de solutos no floema e na própria fotossíntese (ALMEIDA, 2009; FRANCO, 2014). Mesmo os solos apresentando possíveis quantidades significativas deste elemento, somente uma fração dele é utilizado pelas plantas, auxiliado pela matéria orgânica presente no solo (NASCIMENTO; MONTE; LOUREIRO, 2008).

De acordo com Nascimento, Monte e Loureiro (2008), em grande parte dos solos onde se desenvolvem os plantios florestais existe um acúmulo significativo do íon metálico ( $K^+$ ). É uma grande quantidade de potássio concentrada por hectare, no entanto, somente uma pequena quantidade deste elemento fica disponível para as plantas durante todo o seu crescimento, provavelmente, menos do que 2%, devido as suas variadas possibilidades de configuração de ocorrências nos solos.

Já o Magnésio,  $Mg^{2+}$ , segundo Costa (2014), tem papel relevante nas células das plantas, auxiliando em diversos processos metabólicos do vegetal, como na ativação de enzimas da respiração, da fotossíntese e da síntese de ácidos nucléicos, sendo parte relevante da estrutura da molécula de clorofila. Sua deficiência na disponibilidade para crescimentos das plantas proporciona clorose internervural, que acontece primeiro nas folhas velhas, interferindo significativamente no crescimento mais lento das plantas e as tornando mais susceptíveis às doenças e, conseqüentemente, levando-as à morte. Em solos ácidos com pH inferior a 5,4 e com excessivas concentrações em fertilizantes com Ca e/ou K, já se torna um comprometedor da disponibilização deste mineral essencial às plantas.

Diante do exposto, como o resíduo dos tanques da piscicultura é rico nestes nutrientes, com custos praticamente inexistentes, cria-se uma possibilidade de uso sustentável como adubação orgânica para monocultivo e sistemas agroflorestais.

### 3.6.2 - Sedimentos do reservatório de Itaparica

Outro problema que os grandes reservatórios artificiais geralmente enfrentam é a deposição de grande quantidade de sedimentos em seus leitos. Segundo SEDNET (2004), sedimento é uma parte essencial, integral e dinâmica das bacias hidrográficas, sendo resultante do intemperismo e erosão de minerais, matéria orgânica e solos em zonas à montante do curso d'água e da erosão das margens dos rios. Esses sedimentos, que muitas das vezes concentram altos teores de matéria orgânica, favorecem a ocorrência dos processos de eutrofização das águas, principalmente em afluentes desses reservatórios, onde o fluxo das águas é menor.

Por outro lado, o aumento de matéria orgânica pelo crescimento de fitoplanctos nas áreas mais rasas desses reservatórios é capaz de constituir um material útil, podendo ser usado como adubação na agricultura de pequenas propriedades rurais. No entanto, a retirada desse material nas partes mais profundas dos reservatórios é inviável ao pequeno produtor, mas, nas épocas em que ocorre diminuição da cota d'água dos rios, esse material rico em matéria orgânica chega a ficar exposto, facilitando sua extração e constituindo uma fonte de nutrientes de baixo custo e de fácil acesso.

Theodoro *et al.* (2007) e Walter *et al.* (2012) indicam o uso desses sedimentos para propósitos agrícolas, desde que os níveis de metais pesados, quando presentes neste material, sejam em níveis reduzidos. Ockenden *et al.* (2014), estudando dez zonas úmidas de campo do Reino Unido para retenção de sedimentos e nutrientes, verificaram, nesses sedimentos, concentrações significativas de nutrientes, como Carbono (C) e Nitrogênio (N), numa proporção média de (97: 8), indicando uma relação de C/N aceitável para ser usado como adubação na agricultura, visto que C proporciona energia para a planta e N se comporta como elemento essencial para o crescimento do vegetal. Conforme Giacomini *et al.* (2003), a relação C/N nos compostos orgânicos tem sido uma das características de maior uso para prognosticar a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos, visto que, quanto mais baixa for essa relação, maior será a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a liberação do nitrogênio para ser utilizado pelas raízes das plantas.

### 3.6.3 - Biocarvão

Outro insumo natural que vem sendo utilizado com frequência é o biocarvão. O termo biocarvão (*biochar* em inglês) vem do grego (*bios* = vida) e do inglês (*char* = carvão) e foi proposto a partir dos estudos sobre a matéria orgânica, do manejo sustentável de solos, das mudanças climáticas globais e do estoque de carbono. É produzido por meio de pirólise, mediante o aquecimento da biomassa na ausência de oxigênio (CHAN *et al.*, 2007; LEHMANN; JOSEPH, 2009).

A utilidade principal do biocarvão é melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, aumentando sua fertilidade através da redução do lixiviamento de nutrientes, entretanto, sem que haja redução de microrganismos, proporcionando maiores retenções de água e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (LEHMAN *et al.*, 2003; SINGH *et al.*, 2010; JEFFERY *et al.*, 2011).

De acordo com Santos *et al.* (2019), a associação do uso do biocarvão como fertilizante possibilita o aumento da disponibilidade de fósforo (P), em razão da redução da adsorção deste elemento nos óxidos de ferro (Fe), sendo o mesmo indicado na melhoria da absorção e uso do P pelas plantas na produção agrícola. Qian *et al.* (2015), em sua pesquisa com o uso do biocarvão, demonstram que o mesmo tende a reduzir efetivamente a concentração de metais pesados no solo, como também, numa possível aplicação direta, pode, significativamente, aumentar a capacidade do uso N pelas plantas.

Na região de Itaparica, o biocarvão é um insumo de baixo custo de aquisição, quando comparados aos fertilizantes industriais, pois pode ser obtido pela maceração do carvão, comumente encontrado na região.

Chan *et al.* (2007) verificaram os benefícios do uso do biocarvão na agricultura, favorecendo o aumento o pH do solo, do carbono orgânico e dos nutrientes Ca, N, P e K trocáveis, como também, conseqüentemente, possibilitando a diminuição do alumínio (Al) no solo.

Trazzi *et al.* (2018) avaliaram as potencialidades do uso do biocarvão como forma de condicionador e fertilizante do solo para seu uso agrícola e florestal, visto que o biocarvão apresenta características importantes que podem beneficiar o desenvolvimento das plantas.

Esses são alguns dos exemplos científicos do uso dos adubos orgânicos e do condicionador do solo como opção na implantação da nutrição de plantas arbóreas e agrícolas, podendo claramente ser testada a sua aplicação em cultivos consorciados. Dependendo dos seus resultados finais, podem proporcionar uma potencialidade

econômica, social e sustentável em alternância ao uso de fertilizantes químicos e industriais na microrregião de Itaparica.

### 3.7 - Sistema Agroflorestais: viabilidade técnica e econômica do sistema

Um dos fatores de bastante relevância que necessita ser considerado na implantação de um sistema agroflorestal é a verificação da sua viabilidade nas áreas a qual o sistema será inserido. Dentre as diferentes possibilidades de viabilidade que um SAF pode ser avaliado, basicamente, destacam-se dois tipos principais: viabilidade econômica e viabilidade técnica.

Na viabilidade econômica, são avaliados todos os possíveis meios que possibilitem verificar se as receitas intrínsecas, obtidas por um determinado projeto de investimento, sobrepujam todos os custos necessários para sua implantação, tendo por objetivo principal tomar uma decisão se um projeto pode ou não ser executado, mediante seus resultados econômicos (REZENDE; OLIVEIRA, 2008).

Conforme Parron *et al.* (2015), muitas das pesquisas que envolvem os sistemas agroflorestais (SAF) vêm enfatizando, principalmente, os aspectos biofísicos e sociais, existindo lacunas sobre os tópicos econômicos. Os autores afirmam que é extremamente necessário ampliar os estudos sobre aspectos financeiros do sistema, visando, com isso, aumentar a aceitabilidade entre produtores rurais e, assim, possibilitar a definição de parâmetros que fundamentem as diferentes alternativas de modelos economicamente viáveis que possam ser implementados.

A viabilidade técnica se refere aos possíveis meios que possibilitem a execução viável de um projeto, por meio das diferentes metodologias ou tecnologias alternativas que possam ser utilizadas para maximizar seus resultados. Nos SAF, essa viabilidade está ligada basicamente às diferentes técnicas e formas de cultivo que podem auxiliar no crescimento das espécies agrícolas e florestais envolvidas, aumentando, assim, a produtividade dos vários componentes de interesse dos sistemas.

De acordo com Cordeiro (2010), é importante especificar bem os dois tipos de viabilidade, quando se pretende implementar um SAF em uma determinada região, visto que esse tipo de cultivo envolve, em seu processo produtivo, uma série de etapas que decorrem do conhecimento de práticas agrícolas e florestais, que são importantes na condução e manejo correto das espécies que compõem o sistema, evitando, deste modo, possíveis riscos que possam inviabilizar o projeto no futuro.



### 3.7.1 - Parâmetros da viabilidade técnica

#### 3.7.1.1 - Índice de Produtividade Relativa e Índice de Equivalência de Área

O cultivo consorciado de espécies vegetais é uma atividade que já vem sendo bastante utilizada ao longo dos tempos. Um dos propósitos deste tipo de escolha, segundo Amanullah *et al.* (2016), basicamente, é a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis e, por conseguinte, o aumento da produtividade em comparação aos monocultivos. No entanto, parâmetros e índices devem ser ponderados, a fim de validar se determinado tipo de sistema escolhido atende ou não aos propósitos do produtor, quanto ao aumento da produtividade.

O Índice de Produtividade relativa (IPr) tem por objetivo verificar a eficiência do rendimento de uma única cultura agrícola consorciada, em função do seu respectivo monocultivo (DE WIT; VAN DEN BERGH, 1965). Este índice indica que, quando o IPr for maior que 1, o consórcio se desenvolve com mais eficácia, quando comparado ao seu rendimento em cultivo único. De forma inversa, IPr menor que 1 mostra que a associação de culturas, agrícolas ou florestais, entre si não é benéfica para a cultura principal, em função da sua produção (PUIATTI *et al.*, 2000).

Já o índice de Equivalência de área (IEA), ou Razão de Equivalência de Terra “*Land Equivalent Ratios*” (LER), ou ainda Uso eficiente de terra (UET) são os termos mais utilizados na literatura agroflorestal para expressar os estudos da produtividade de duas ou mais culturas agrícolas-florestais em relação as suas áreas plantadas. Esse índice é usualmente utilizado como um prognóstico para determinação da eficácia dos consórcios acerca dos seus respectivos monocultivos.

Bezerra Neto *et al.* (2007) e Gonzaga (2014) definem este índice de uma forma genérica e de fácil compreensão, como sendo a área de terra, relativamente necessária, para se ter, em monocultivo, os mesmos rendimentos que se obteria nos cultivos em consórcio, ou seja, a quantificação do número de hectares necessários para que a produção, em monocultivo, seja equivalente à obtida em um (1) ha de consórcio.

Khasanah *et al.* (2020) avaliam a importância do uso do IEA como parâmetro de decisão pelo produtor rural, à medida que o índice permite indicar em quais

sistemas diversificados usam a terra de forma mais eficiente, sendo considerado como um parâmetro "poupador de terra".

Esta indicação de vantagem de plantios consorciados sobre monocultivos em relação à área é antiga, visto que Morgado (1986) afirma que, desde 1959, já era mencionada tal afirmação pelo pesquisador Niqueux em sua pesquisa de consorciação de amendoim com sorgo. Porém, só em 1980, com trabalho de Mead e Willey (1980), que se definiu uma forma de quantificar as áreas necessárias para que as culturas de um determinado plantio em monocultivo obtivessem as mesmas produções alcançadas em um hectare nos consórcios. Este índice pode ser calculado da seguinte forma:

$$IEA = \left( \frac{\text{Produção da cultura A no consórcio}}{\text{Produção da cultura A no plantio Isolado}} \right) + \left( \frac{\text{Produção da cultura B no consórcio}}{\text{Produção da cultura B no plantio Isolado}} \right)$$

Se o IEA >1, então, ocorre vantagem produtiva nos consórcios; se IEA=1, não ocorre vantagem produtiva, ou seja, neutro para ambos os sistemas; e, se IEA < 1, então, ocorre desvantagem produtiva na consorciação entre as espécies (NOVELINI, 2018).

Souza e Macedo (2007) sugerem que o IEA pode ser adaptado para se verificar, de forma individual, a contribuição relativa (Cr%) de cada cultura em função do próprio IEA. Com essa adaptação, o produtor consegue entender a dinâmica da sua produção nas determinadas culturas e, assim, pode manejá-la de forma que atenda aos possíveis interesses econômicos do produtor.

$$CRC_{A \text{ ou } B} = \left( \frac{IA \text{ ou } IB * 100}{IEA} \right)$$

Em que:

$CRC_{A \text{ ou } B}$  = Contribuição relativa da cultura A ou da cultura B

IA e IB = Produtividades relativas individuais de cada cultura A ou B

IEA = índice de Equivalência de área

Vários são os trabalhos em que se faz uso desta metodologia para avaliar a associação de culturas em relação aos monocultivos.

Padovan *et al.* (2011) utilizaram o Índice de Equivalência de Área (IEA) para administrar possíveis arranjos diversificados de produções agrícolas, seguindo princípios agroecológicos, visando identificar alternativas tecnológicas para sistemas de produção típicos da agricultura familiar, na região do Cone Sul de Mato Grosso do Sul. Os resultados obtidos pelos autores foram que a utilização de consórcio se mostrou mais vantajosa quando comparado ao seu monocultivo, em todas as combinações testadas, com índice de equivalência de área (IEA) variando de 1,23 a 1,37.

Graves *et al.* (2010) utilizaram o IEA para verificar a proporção de equivalência de terra em sistemas mistos de árvores e culturas agrícolas, sob duas situações de produção contrastantes na Europa. Em seus resultados, os autores concluíram que, em todas as simulações, o índice indicou uma maior eficiência no uso da terra nos SAF, ou seja, maiores proporções de equivalente de terra quando as árvores e as safras são combinadas, em vez de cultivadas como culturas únicas. Estes resultados, apoiados pelos escassos dados experimentais disponíveis na época para os autores, indicaram que a agrossilvicultura fornece um método para aumentar a produção de alimentos, madeira e biomassa a partir de recursos de terra limitados na Europa.

Seserman *et al.* (2018) tiveram como objetivo principal em sua pesquisa avaliar a produtividade geral de dois sistemas agroflorestais por meio do LER ou IEA. Para isso, os autores seguiram duas premissas: (1) os rendimentos das árvores e culturas agrícolas tinham igual importância econômica e (2) a importância econômica era dada apenas pela safra anual, na qual o rendimento das árvores representa um lucro suplementar. Os resultados encontrados pelos autores foram que os valores resultantes para o IEA foram consistentemente acima de seu limite específico, corroborando uma maior eficiência dos sistemas agroflorestais ao invés da monocultura. Além disto, os autores destacaram a importância de escolher as premissas adequadas ao calcular o IEA.

Vale (2014) estudou os SAF com eucaliptos, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável na zona da mata de Mina Gerais. Para isto, usou o IEA em um dos seus objetivos, encontrando o valor total de 1,93 para a associação de pastagem com eucaliptos, indicando a sua eficiência de uso da terra, quanto a sua produtividade.

Diante do que foi exposto, o índice de equivalência de área se mostra bastante relevante nos estudos de viabilidade de sistemas agroflorestais, quando se deseja compará-los aos monocultivos, em função do aproveitamento mais eficiente do uso da terra.

### 3.7.2 - Parâmetros de viabilidade econômica

#### 3.7.2.1 - Renda líquida por unidade de área

No atual cenário econômico global, é possível perceber que diferentes condições, externas e internas, podem influenciar diretamente no sucesso ou no fracasso em relação à produção e comercialização de produtos do setor agrário. Flutuações no câmbio, mudanças climáticas, posicionamentos políticos, planejamentos inadequados e concorrências de mercado são alguns exemplos de características que, quando não previstas ou compreendidas, podem levar o produtor rural ao insucesso do seu empreendimento.

Para compreender como os sistemas agroflorestais (SAF) podem contribuir para aumentar a renda líquida por unidade de área do produtor rural, quando comparados com os monocultivos tradicionais, precisa-se desmembrar e compreender alguns pontos do que seria um investimento quando se considera uma produção rural.

Segundo Alves *et al.* (2012), todo investimento, especificamente o agrário, está atrelado a dois pontos cruciais, que são: a rentabilidade líquida e a rentabilidade bruta. A rentabilidade bruta é toda receita na qual não são descontados os custos provenientes da implantação e manutenção do empreendimento. Esta rentabilidade deve remunerar todos os fatores da produção, da terra, do capital, do trabalho, da administração e dos custeios gerais. De acordo com esses autores, a renda bruta deve ser sempre maior ou igual ao dispêndio total da produção. O dispêndio é tudo o que se gasta em relação à produção, ou seja, de forma simples, seriam todas as despesas e consumos em geral.

Ramalho *et al.* (2016) resumem de uma forma generalizada que a rentabilidade bruta pode ser obtida simplesmente multiplicando a produtividade de determinada cultura produzida pelo seu valor pago ao produtor. Já a rentabilidade líquida se refere

a toda receita obtida pelo empreendedor, porém, descontando todos os custos referentes à implantação e manutenção da atividade desenvolvida pelo produtor rural.

A renda líquida é, portanto, uma medida que diz respeito à capacidade de sobrevivência do empreendimento, em outras palavras, ela separa, em duas classes, o produtor rural: Os bem-sucedidos, quando a renda líquida é igual ou maior que zero, e os malsucedidos, quando a renda líquida for inferior a zero. Como a renda líquida está atrelada diretamente com a renda bruta, menos os dispêndios, Alves *et al.* (2012) explicam que 68% de toda renda bruta de um empreendimento agrário, muitas das vezes, vai ser explicado pelas tecnologias utilizadas durante a implantação e condução de um projeto.

Essas tecnologias são basicamente os insumos tecnológicos que agregam na produção, exemplo: fertilizantes, agrotóxicos, energia, maquinários, equipamentos, rações, entre outros. Este é o ponto-chave que separa os SAF dos monocultivos tradicionais em relação à renda líquida por unidade de área.

Os SAF, como sistema agregador de diferentes culturas agrícolas e florestais numa mesma área, apresentam diversas características que os colocam numa posição estratégica, quando se analisa sua viabilidade econômica em comparação aos monocultivos.

Associados aos possíveis benefícios ecológicos e ambientais interligados aos SAF, têm o valor econômico atrelado e de grande relevância no sistema, que, de acordo com Schembergue *et al.* (2017), por terem uma diversificação das atividades econômicas na propriedade, possibilitam o aumento da lucratividade por unidade de área e minimizam os riscos atrelados às perdas de renda por eventos climáticos ou até mesmo de mercado.

Por conta desta diversidade de culturas agrícolas-florestais, existem possibilidades maiores de oportunidades de emprego no meio rural, com o auxílio de mão de obra necessária para o seu manejo intercalado, como também na possibilidade de aumento da renda, através da comercialização escalonada dos produtos gerados ao longo do tempo, dentro da área dos SAF.

Já nos monocultivos, os riscos são bem maiores, visto que só existe uma única cultura, para a qual são necessários vários insumos para manter o mesmo cultivo na área de forma eficiente e produtiva, onde qualquer alteração brusca de mercado ou climático pode comprometer todo o sistema.

Isso não significa que, nos SAF não existam riscos, ao contrário, todo empreendimento agrícola, quando não se tem, previamente, um procedimento de planejamento e execução, pode levar ao fracasso e ao insucesso (TURKAY; BEKIROGLU; TOLUNAY, 2016). Em outras palavras, prejuízo e abandono da proposta de implantação do sistema pelo produtor rural, em substituição às práticas tradicionais, criam a falsa ideia de que os sistemas SAF não rendem economicamente como um monocultivo tradicional.

São nestas perspectivas apresentadas, na diversificação de culturas agrícolas e florestais, como nas possíveis reduções de matéria-prima, tratos culturais e de mão de obra, que os sistemas agroflorestais podem desempenhar um aumento real da renda líquida por unidade de área, quando comparados aos monocultivos tradicionais, que, dependendo de fatores adversos, podem enfrentar sérios problemas, fazendo os dispêndios se elevarem a níveis que comprometam severamente o produtor rural em função da sua produção.

#### 3.7.2.2 - Critérios econômicos avaliados em SAF's

Qualquer tipo de projeto, agrário ou não, deve ser sempre bem planejado e analisado financeiramente, para que, em qualquer imprevisto contraproducente que venha a ocorrer ao logo do tempo, possam ser minimizados seus efeitos negativos e, simultaneamente, reverter, quando possível, o seu prejuízo, criando, deste modo, uma segurança financeira de todo o capital aplicado no novo negócio.

Folmann *et al.* (2014) asseguram que a realização das análises econômicas na implantação de povoamento florestais, a fim de validar sua viabilidade, tornaram-se ferramentas indispensáveis nas tomadas de decisão, como também na melhoria da compreensão referente ao desenvolvimento das florestas. Os autores ainda afirmam que, baseando-se nos resultados preliminares dos estudos econômicos, fica possível aprimorar os indicadores financeiros, mediante a possibilidade de alterações das práticas silviculturais desenvolvidas no povoamento, permitindo, desta maneira, selecionar os melhores projetos.

Focando numa visão estritamente econômica, em sistemas agroflorestais, onde existe uma gama de integrações de várias essências vegetais numa mesma área, que, geralmente, tem a madeira como produto final mais importante dentro de

todo o sistema, a perspectiva de analisar financeiramente esse tipo de projeto se torna uma etapa imprescindível.

Vitale e Miranda (2010) afirmam que o sortimento da produção numa propriedade rural é uma estratégia base bastante relevante para os produtores, tendo em vista a possibilidade de receitas mais bem distribuídas ao longo do tempo, não subordinando a uma única atividade que possa comprometer todo o desempenho da propriedade, em casos de ocorrências de adversidades não previstas.

Macedo *et al.* (2010) afirmam que a diversificação de produtos dentro de uma propriedade rural propicia toda a diferença entre o fracasso e o êxito do investimento, ou seja, quando se tem planejamento e uma execução bem ordenada, os sistemas agroflorestais podem assegurar, ao produtor rural, renda adicional por um período de tempo considerado, garantindo-lhe segurança financeira. Por isto, os sistemas agroflorestais são adotados como possíveis alternativas viáveis quando se pensa em projetos de investimento florestais a longo prazo.

Segundo Silva, Jacovine e Valverde (2008), é considerada como projeto de investimento, toda e qualquer aplicação de recursos financeiros em propostas que tenham como objetivo principal obter receitas, podendo ser quantificadas em termos monetários. Para esses projetos, que consideram a variação do capital em função do tempo, os métodos mais usuais na sua avaliação são: Valor presente líquido (VPL), Valor anual equivalente (VAE) ou Valor periódico equivalente (VPE), Valor esperado da terra (VET), razão Benefício/Custo (B/C) e Taxa interna de Retorno (TIR).

Segundo Dossa (2000), o valor presente líquido é um dos instrumentos mais consistentes para se realizar análises de investimentos florestais e agroflorestais, sendo o mesmo considerado como o mais robusto, visto sua capacidade de garantir um certo padrão mínimo de desempenho. Gitman (2010) afirma que o VPL, por avaliar explicitamente o valor do dinheiro em função do tempo, é considerado uma técnica sofisticada de orçamento de capital, que tem como premissa o desconto de todos os fluxos de caixa a uma determinada taxa especificada, denominada de taxa de desconto ou também conhecida como taxa de atratividade. De acordo com Lima (2013), a taxa de desconto existe para que se possa ter a concepção do valor do dinheiro em função do tempo, o que é essencial quando se deseja maximizar os ganhos financeiros por meio de quaisquer tipos de investimento.

De acordo com Lemes Júnior, Rigo e Cherobim (2010), a lógica do VPL é a de que, se um determinado projeto de investimento está remunerando o proprietário ao

seu custo de capital, ele gerará caixa suficiente para pagar os respectivos juros. Se o projeto gera um VPL positivo, significa que, sendo implantado, estará aumentando o lucro do empreendedor.

O VPL apresenta algumas vantagens e desvantagens quanto ao seu uso como método de avaliação de projetos florestais e agroflorestais. De acordo com Oliveira e Pagnussat (2019) e Lemes Júnior, Rigo e Cherobim (2010), uma das principais vantagens é a consideração do valor do dinheiro em função do tempo e da sua facilidade de cálculo, porém, sendo necessário conhecer a taxa de atratividade ou desconto apropriada para cada caso. Outras vantagens são que os VPLs podem ser somados e os mesmos só dependem apenas dos fluxos de caixa e do seu custo de capital.

No entanto, a desvantagem ao uso do VPL, é que se torna difícil e arriscada a determinação e utilização de uma respectiva taxa de desconto, assim como a simplicidade do seu resultado. Visto que, baseando-se somente no resultado do índice, o mesmo pode influenciar numa decisão precipitada, que pode não refletir a realidade do projeto, levando o produtor rural ao dilema na sua tomada de decisão, se permanecer ou desistir do investimento, sem obter outras informações complementares que possibilitem uma análise mais apurada do empreendimento.

De acordo com Folmann *et al.* (2014), o Valor Anual Equivalente (VAE) é um indicador utilizado em projetos florestais que refletem na mudança do VPL em fluxos contínuos ao longo da duração do projeto. Esse indicador, por ter a vantagem de trazer os custos e benefícios por unidade de tempo, proporciona a eliminação da necessidade de equalização dos horizontes, ou seja, trazendo a vantagem de permitir a comparação de projetos com diferentes durações de tempo (SILVA; JACOVINE; VALVERDE, 2008). Segundo Virgens, Freitas e Leite (2016), em relação à viabilidade dos projetos florestais, quanto maior o seu valor, mais interessante será o projeto para o produtor rural.

O índice do Valor Esperado da Terra (VET), ou valor da expectativa do solo, ou Conceito de Faustmann, foi desenvolvido para estabelecer o preço máximo atribuído ao valor da terra nua na região, na qual se desenvolve o empreendimento agrícola-florestal (LOPES *et al.*, 2008), podendo ser utilizado como parâmetro para o arrendamento de terra. Este índice, segundo Silva e Fontes (2005), é bastante utilizado nas definições da rotação econômica das culturas manejadas, bem como na escolha de projetos alternativos.



A taxa interna de retorno (TIR) é a possibilidade de verificar, em porcentagem, o crescimento médio de um projeto de investimento econômico, mediante todo seu capital investido. Sendo considerado, também, como o limiar entre a viabilidade de um investimento em função do seu respectivo VPL (REZENDE; OLIVEIRA, 2008).

Já em relação ao Benefício/Custo (B/C), refere-se basicamente a um valor único que representa a efetividade de um investimento agrário, em função dos seus respectivos fluxos líquidos finais, descontada uma determinada taxa de juros. É um parâmetro econômico importante na avaliação de projetos agroflorestais, pois possibilita verificar o quanto de retorno positivo ocorre mediante todos os custos envolvidos (REZENDE; OLIVEIRA, 2008)

A fim de verificar a eficiência da utilização destes indicadores para análise financeira de projetos florestais e de SAF, serão abordados alguns dos principais resultados obtidos de trabalhos científicos que utilizaram esses indicadores nas suas avaliações.

Gonçalves *et al.* (2017) objetivaram estabelecer a rotação econômica de plantações de eucalipto, tendo como referência três sítios de diferentes produtividades, utilizando-se do Valor Presente Líquido (VPL). Utilizaram algumas importantes variáveis, entre elas, o preço da terra e da madeira, a taxa de juros aplicada e a respectiva produtividade das árvores do povoamento. Os autores obtiveram como resultado do VPL um maior valor de seu parâmetro, quando associado ao sítio mais produtivo (I), com idade de seis anos, indicando esta idade como sendo a ótima para o corte das árvores, ou seja, sua rotação econômica. No sítio II, o maior valor de VPL indicou a rotação do cultivo aos oito anos e, no sítio III, onde a produtividade da área foi comprometida, todos os VPL foram negativos para todas as idades, indicando, assim, que plantar eucaliptos em sítios com qualidade inferior se torna inviável economicamente. Portanto, a utilização do VPL pode ser considerada como uma ferramenta eficaz quando aplicado em conjunto com outros fatores, para averiguar a idade ótima de rotações em plantações florestais.

Weimann, Farias e Deponti, (2017) objetivaram comparar a viabilidade econômica de componentes florestais em uma pequena propriedade rural, cultivados em consórcios e em plantio convencional. Para isto, utilizaram o sistema silvipastoril com eucalipto com seu respectivo plantio em monocultivo. Os indicadores selecionados para a análise econômico-financeira foram: Valor Presente Líquido (VPL) e Valor Anual Equivalente (VAE). Os autores observaram que o monocultivo

florestal apresentou maior VPL nas rotações de 10 e 15 anos quando comparado ao VPL do sistema silvipastoril. O VPL para o plantio convencional foi maior devido ao maior número de indivíduos presentes na área, em função do menor espaçamento. No entanto, os sistemas silvipastoris apresentam vantagens quando comparados com monocultivos florestais por ser um sistema produtivo que combina proteção ambiental com uso eficiente da terra. Em relação ao VAE, o monocultivo florestal apresentou maior valor em relação ao sistema silvipastoril para as duas rotações simuladas. Os autores concluíram que os plantios em monocultivos florestais são mais viáveis economicamente que os sistemas agroflorestais, quando comparado apenas o componente florestal, sem avaliar os demais componentes do sistema.

Cordeiro *et al.* (2018) verificaram a rentabilidade de um sistema agroflorestal com eucaliptos, mediante a variação do espaçamento de plantio das árvores e dos sistemas consorciados, bem como comparando os seus resultados com o plantio convencional da espécie arbórea. Os autores utilizaram como critérios econômicos o Valor Presente Líquido (VPL) e o Benefício Periódico Equivalente (BPE) ou (VAE). De acordo com seus resultados, todos os projetos analisados se apresentaram viáveis economicamente.

Santos *et al.* (2016) analisaram a viabilidade econômica da produção de floresta energética em sistema agroflorestal no âmbito da agricultura familiar no semiárido sergipano. Usaram o índice (VPL) com taxas de desconto de 9%, 12% e 15% a.a. e concluíram que os SAF apresentaram rentabilidade econômica positiva quando se utiliza de taxa de desconto similar ao praticado no mercado tradicional, o que indica ser uma alternativa de investimento para a diversificação da renda no âmbito da agricultura familiar.

Pedroso Filho *et al.* (2018) avaliaram a viabilidade econômica mediante doze (12) tipos de espaçamentos com *Eucalyptus grandis* para produção de lenha. O povoamento foi avaliado aos oito anos, em função dos parâmetros VPL, B/C, TIR, VET. Todos os projetos foram viáveis economicamente, mas, entre as 12 possibilidades de espaçamento na produtividade florestal, o espaçamento de 2,0m x 2,5m se mostrou economicamente mais lucrativo sob os critérios econômicos adotados. Os autores recomendam que outros estudos sejam realizados, considerando, para cada tipo de espaçamento, uma idade de rotação específica, e não uma única rotação.

Paul *et al.* (2014), em um trabalho desenvolvido no leste do Panamá, objetivaram avaliar a viabilidade da geração de retornos econômicos, consorciando plantações de madeira de lei com culturas anuais. Os custos e receitas do consórcio foram provenientes do uso de cinco espécies de árvores nativas da região e uma exótica, com três tratamentos (variedades agrícolas) avaliados - feijão, feijão bóer e mandioca. Os autores verificaram, a partir dos resultados obtidos, que todas as combinações de árvores e culturas agrícolas, exceto a com mandioca, geraram fluxos de caixa líquidos positivos durante os primeiros anos de plantio. Foi analisada uma rotação para 25 anos para o cultivo florestal e verificaram que os sistemas agrossilviculturais aumentaram o seu VPL em até 50% em relação ao monocultivo (com taxa de juros de 6% a.a), tendo o consórcio da espécie florestal exótica com feijão bóer apresentando o melhor desempenho econômico.

Generalizando os resultados, é extremamente importante continuar desenvolvendo pesquisas sobre a implantação de projetos em sistemas agroflorestais, em função de sua viabilidade técnica e econômica, principalmente quando se têm diferentes características em cada região que podem influenciar, direta e indiretamente, na decisão final do produtor quanto à escolha correta do sistema que melhor apresente retorno financeiro ao longo do tempo.

## 4 - MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 - Planejamento e implantação do experimento

O experimento foi implantado em março de 2014, numa área de 5,6 hectares, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Belém do São Francisco, localizado na latitude 08°45'14" Sul e longitude 38°57'57" Oeste, com altitude de 305 metros, na região semiárida do estado de Pernambuco, Microrregião de Itaparica (IBGE, 2020).

A implantação e condução do experimento ocorreu seguindo a metodologia do Diagnóstico e Desenho (D&D), desenvolvido pelo World Agroforestry Centre (ICRAF). Basicamente, a metodologia provém do diagnóstico de problemas de gestão da terra e do desenho de soluções agroflorestais, baseando-se nas seguintes fases: pré-diagnóstico (reconhecimento da área), diagnóstico (levantamento e análise das informações da área), desenho ou *designer* das tecnologias (identificação das tecnologias possíveis e acessíveis), avaliações e redesenho da tecnologia (classificação da adequabilidade das tecnologias propostas), planejamento (sistematização dos resultados e revisão do estágio do conhecimento), implementação (validação do diagnóstico e desenho) e disponibilização do modelo como unidade de referência (KILEWE; KEALEY; KEBARA, 1989; FRANK, LUNZ; AMARAL, 2000; TÜRKOĞLU; BEKIROGLU; ALMEIDA, *et al.*, 2012;)

A fase do pré-diagnóstico foi iniciada aproximadamente entre os anos de 2013 e 2014, baseando-se, principalmente, nas problemáticas de ordem ambiental e socioeconômica existentes na região de Itaparica-PE. A proposta metodológica para a implantação do D&D na área foi resultante de discussões preliminares com entidades parceiras, pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, em parceria com o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Instituto Federal de Pernambuco – IFPE e da Universidade Technische Universität Berlin. Definiu-se pela implantação de um módulo experimental em uma área sem vegetação em que ocorria anteriormente monocultivos agrícolas.

A escolha das essências florestais para compor o SAF foi em função da perspectiva da utilização futura dos produtos gerados pelas espécies, especificamente a lenha para energia.

Foram escolhidos quatro cultivos arbóreos: Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), e dois clones de eucalipto, que foram obtidos por polinização controlada de *E. urophylla* x *E. tereticornis*.

As mudas dos clones de eucalipto foram oriundas do viveiro florestal da empresa Suzano, da cidade de Urbano Santos – MA, e as de Angico e de Aroeira foram obtidas do Viveiro Florestal da Companhia Hidroelétrica do São Francisco-CHESF, localizado em Piranhas - AL.

Já em relação às culturas agrícolas, foram observadas e consideradas as necessidades básicas do pequeno produtor local e do forte apelo da região para comercialização de seus produtos.

Dentre as possíveis culturas agrícolas de subsistência que poderiam fazer parte inicialmente do sistema SAF, a escolha se deu com a cultura agrícola do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade Miranda - IPA 207, e de uma espécie forrageira, o capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq), devido a sua tolerância à seca.

As sementes do feijão-caupi foram obtidas do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Recife- PE. Já as do capim Tanzânia, na empresa Nutricampo, em Recife- PE.

Na fase do diagnóstico do D&D, foram realizadas as análises química e física do solo onde seria implementado o experimento, com amostras coletadas em três profundidades do solo (0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm). Os resultados foram divulgados por Santos (2016) nas Tabela 1 e Tabela 2:

**Tabela 1:** Características físicas do solo na área experimental, na Estação do IPA, antes da implantação do experimento, em Belém de São Francisco, PE

Profundidade (cm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Granulometria (%)				Argila Natural	Grau de Flocculação	Classe textural
	Dap	Dp	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
00-30	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	57,3	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; Dr= densidade partículas; FA= Franco arenoso.

Fonte: Santos (2016)

**Tabela 2:** Características químicas do solo na área experimental, na Estação do IPA, antes da implantação do experimento, em Belém de São Francisco, PE

Profundidade	P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	m
(cm)	mg.dm <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> O	cmolc.dm <sup>-3</sup>								%	
00-30	51	5,82	4,04	0,95	0,09	0,49	0,06	1,51	5,6	7,1	75,4	1,5
30-60	37,73	6,04	4,31	0,94	0,11	0,23	0,05	0,94	4,8	5,7	75,5	0,8
60-90	37,64	6,29	4,78	1,1	0,2	0,19	0,01	0,76	5,4	6,2	79,5	0,3

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)

Foi definida também, na fase inicial do D&D, a forma de como seriam adubadas as essências florestais e agrícolas na implantação do experimento. Foram escolhidos, como adubos orgânicos, os resíduos de tanques de piscicultura, devido à alta concentração de nutrientes e dos sedimentos acumulados no reservatório de Itaparica.

Outro insumo natural de baixo custo de aquisição, quando comparado aos fertilizantes industriais, que foi, também, proposto na fase diagnóstico do D&D para ser usado como fertilizante e fixador de nutrientes no solo, foi o biocarvão.

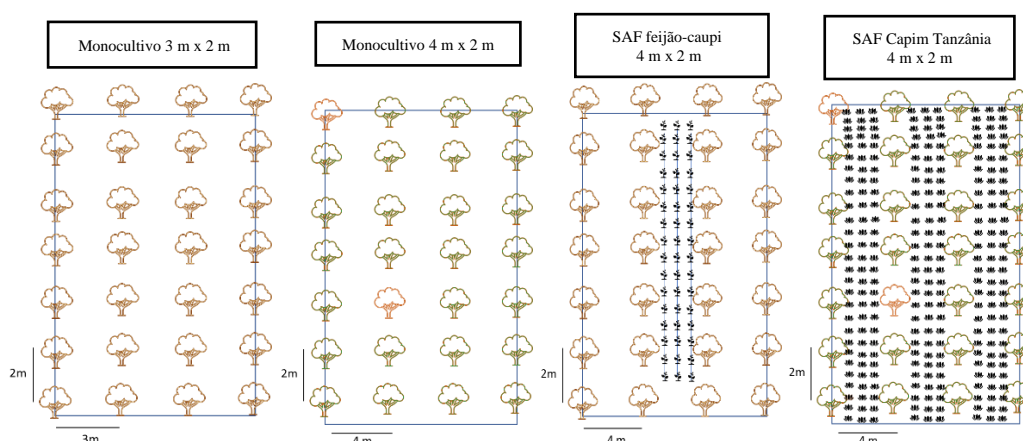
Foram realizadas as análises químicas dos adubos orgânicos e do biocarvão, utilizados no experimento, nas quais se verificou uma expressiva quantidade de matéria orgânica em seus compostos (Anexos 1, 2, 3, 4, 5 e 6).

Passada a fase do diagnóstico do D&D, o experimento foi implementado na área (Figura 1): Levando-se em consideração as informações na fase de diagnóstico do D&D, em relação à escassez de chuvas na região, e pela proximidade do projeto ao leito do rio São Francisco, as áreas consorciadas com as culturas agrícolas foram irrigadas pelo sistema de aspersão fixa, com aspersores distanciados em 18 m.



A definição do arranjo dos SAF foi tomada se baseando em:

- Os plantios foram estabelecidos em dois espaçamentos: 4mx2m para as espécies arbóreas em consorciação com o feijão-caupi e com o capim Tanzânia, como também em monocultivo, e com espaçamento 3 m x 2 m para as espécies arbóreas em cultivos isolados.
- As espécies arbóreas foram distribuídas em 192 parcelas com 28 plantas/parcela, sendo 10 ocupando a área útil, com quatro tratamentos (adubações orgânicas e testemunha), com quatro repetições.
- No preparo do solo, foi aplicada formicida para o controle de formigas. Este procedimento se repetiu durante toda a condução do experimento ao verificar possíveis infestações que pudessem comprometer o crescimento das plantas e sua produtividade.
- No plantio das culturas agrícolas, para o feijão-caupi consorciado e em monocultivo, foram estabelecidas covas com distâncias de 0,5 m entre plantas e 0,66 m entre fileiras, mantendo uma distância mínima de 1,0 m das linhas centrais das culturas florestais, colocando-se três sementes por cova, perfazendo a parcela de 4 m x 8 m (32 m<sup>2</sup>). Para o plantio do capim Tanzânia consorciado e em monocultivo, o espaço entre plantas e linhas foi de 0,5 m, totalizando uma parcela de 14 m x 16 m (224 m<sup>2</sup>) (Figura 2):



Fonte: O Autor (2023)

**Figura 2:** Arranjo e distribuição dos componentes vegetais nos sistemas de produção instalado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco- IPA, no município de Belém de São Francisco, PE.



As primeiras adubações ocorreram no ato do plantio, sendo colocado 0,5 kg de cada fonte por cova para as culturas arbóreas e 0,1 kg para as culturas agrícola e forrageira. Este procedimento foi repetido após um ano para as culturas florestais e em cada início de safra para a cultura agrícola do feijão-caupi.

Seguindo o planejamento, para quantificar e comparar a produtividade das culturas agrícolas nos SAF e nos monocultivos, o procedimento ocorreu da seguinte maneira:

- Para o feijão-caupi, a colheita foi realizada a cada três meses, obedecendo-se ao ciclo da cultura, com um período de 30 dias de pousio entre cada safra.
- Para o capim Tanzânia, o ciclo de corte ocorreu a cada 60 dias.

O manejo executado nas árvores dos SAF do experimento seguiu o planejamento do D&D, por meio de podas de condução nos primeiros anos de plantio.

Nos SAF consorciados com o feijão-caupi, entre a sétima e oitava safras, foi realizada a poda de todas as árvores, até o limite de cinco metros, favorecendo a entrada de luz solar no sistema. Para o controle das plantas indesejáveis nos consórcios, ao longo do período de produção, o manejo ocorreu por meio de capinas manuais quinzenais, sendo deixados os resíduos no solo para sua incorporação e beneficiação do sistema. Para o controle de pragas, foi utilizado inseticida KLORPAN 480 EC com pulverização manual. Em cada safra do feijão, a aplicação do inseticida se deu aos 25 dias após a emergência e repetido o procedimento a cada 15 dias.

Para acompanhar e avaliar o desenvolvimento do crescimento das essências arbóreas, foram medidas as alturas de cada planta, a cada três meses, nos períodos iniciais do plantio até os 18 mês. Após esse período, a coletas de dados ocorreu de seis em seis meses. Em relação às medidas da circunferência a 1,30 m do solo, para o acompanhamento da quantificação do volume ao longo do tempo, foi estabelecido o limite mínimo de inclusão de 9 cm de CAP para todas as essências florestais dos sistemas. Os equipamentos que foram utilizados nas coletas dos dados dendrométricos, referentes à altura das árvores, foi o Clinômetro Eletrônico Haglöf (CE II) e a régua topográfica metálica. Já a coleta das circunferências das árvores foi feita por meio de fita métrica de 1,50 m.

4.2 - Análise estatística para o crescimento das árvores e da produtividade das culturas agrícolas

No experimento, estão envolvidos diferentes tratamentos que tendem a influenciar, direta e indiretamente, no crescimento das árvores e na respectiva produtividade das culturas agrícolas, entre eles, variedades de espécies florestais, formas de cultivos (monocultivo ou em SAF's) e tipos de adubação. No entanto, uma variável que influenciou especificamente como critério de decisão na escolha do modelo estatístico, proposto para ser empregado na análise do desenvolvimento das árvores e da produtividade das culturas agrícolas, foi tempo.

Segundo Nemeç (1996), Vivaldi (1999) e Rocha e Bacelar Junior (2018), todo experimento onde ocorrem medidas sucessivas na mesma unidade experimental, em diferentes épocas do tempo, o uso do modelo estatístico recomendado é o multivariado de medidas repetidas, visto que o mesmo pode verificar as possíveis mudanças que possam ter ocorrido entre os grupos (tratamentos e suas interações) ao longo do tempo.

Foi aplicado o teste de esfericidade de Mauchly para avaliar a adequação do uso de medidas repetidas multivariadas e, neste caso, a esfericidade, em relação às variâncias iguais e correlações nulas, deve ser violada (MAUCHLY, 1940).

Desta forma, o modelo estatístico empregado para avaliação do crescimento em volume e nas produtividades das culturas agrícolas, descrito por Nemeç (1996) foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \tau_j + (\gamma\tau)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$  = Altura ou diâmetro ou volume das essências arbóreas ou produtividade das culturas agrícolas no i-ésimo tratamento, no j-ésimo tempo e na k-ésima repetição;

$\mu$  = Média geral;

$\gamma_i$  = Efeito do i-ésimo tratamento;

$\tau_j$  = Efeito no j-ésimo tempo;

$(\gamma\tau)_{ij}$  = Efeito da interação entre o i-ésimo tratamento no j-ésimo tempo; e

$\varepsilon_{ijk}$  = Resíduo aleatório do i-ésimo tratamento no j-ésimo tempo e na k-ésima repetição.

As hipóteses testadas ao nível de 1% de significância são:

$H_{01}$ = não existem diferenças significativas entre os tratamentos;

$H_{02}$ = não existem diferenças significativas entre os tempos;

$H_{03}$ = não existe interação tempo x tratamentos.

Para se testar as hipóteses  $H_{01}$ ,  $H_{02}$  e  $H_{03}$ , foram utilizados os testes Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy, conforme descritos por Khattree e Naik (1999) e Warner (2013).

Verificando-se diferenças significativas nos fatores isolados e nas interações, será aplicado o teste de Tukey ao nível de significância de 1%.

De acordo com o modelo proposto, a variável resposta  $Y_{ijk}$  no  $i$ -ésimo tratamento, no  $j$ -ésimo tempo e na  $k$ -ésima repetição tende a ser influenciada diretamente pelos efeitos dos tratamentos. Desta forma, mediante as influências das possíveis significâncias dos efeitos dos tratamentos isolados e suas respectivas interações:

Para as espécies arbóreas:

- **Tempo;**
- **Tempo x Espécies/Clones;**
- **Tempo x Adubações;**
- **Tempo x Formas de cultivo;**
- **Tempo x Espécies/Clones x Adubações;**
- **Tempo x Espécies/Clones x Formas de cultivo;**
- **Tempo x Adubações x Formas de cultivo; e**
- **Tempo x Espécies/Clones x Formas de cultivo x Adubações**

Em que:

**Tempo:** 19 medições ao longo do tempo, sendo **T(1)** = 0; **T(2)** = 3 meses; **T(3)** = 6 meses; **T(4)** = 9 meses; **T(5)** = 12 meses; **T(6)** = 15 meses; **T(7)** = 18 meses; **T(8)** = 24 meses; **T(9)** = 30 meses; **T(10)** = 36 meses; **T(11)** = 42 meses; **T(12)** = 48 meses; **T(13)** = 54 meses; **T(14)** = 60 meses; **T(15)** = 66 meses; **T(16)** = 72 meses; **T(17)** = 78 meses; **T(18)** = 84 meses, **T(19)** = 90 meses, **T(20)** = 96 meses; e **T(21)** = 102 meses.

**Espécies/Clones:** Clone MA 2000; Clone MA 2001; Angico; e Aroeira.

**Adubações:** resíduos de tanques de piscicultura; sedimento do lago; biocarvão; e testemunha (controle).

**Formas de cultivo:** monocultivo (3 m x 2 m); monocultivo (4 m x 2 m); SAF com capim Tanzânia (4 m x 2 m); e SAF com feijão-caupi (4 m x 2 m).

Para as culturas agrícolas:

- **Tempo;**
- **Tempo x Formas de cultivo;**
- **Tempo x Adubações; e**
- **Tempo x Formas de cultivo x Adubações;**

Em que:

Para o feijão-caupi:

**Tempo:** 16 avaliações ao longo do tempo, sendo **T(1)** = 11 meses; **T(2)** = 15 meses; **T(3)** = 19 meses; **T(4)** = 23 meses; **T(5)** = 27 meses; **T(6)** = 31 meses; **T(7)** = 35 meses; **T(9)** = 39 meses; **T(10)** = 43 meses; **T(11)** = 47 meses; **T(12)** = 51 meses; **T(13)** = 55 meses; **T(14)** = 59 meses; **T(15)** = 63 meses; e **T(16)** = 67 meses.

Para o capim Tanzânia:

**Tempo:** 32 avaliações ao longo do tempo, sendo **T(1)** = 18 meses; **T(2)** = 20 meses; **T(3)** = 22 meses; **T(4)** = 24 meses; **T(5)** = 26 meses; **T(6)** = 28 meses; **T(7)** = 30 meses; **T(9)** = 32 meses; **T(10)** = 34 meses; **T(11)** = 36 meses; **T(12)** = 38 meses; **T(13)** = 40 meses; **T(14)** = 42 meses; **T(15)** = 44 meses; **T(16)** = 46 meses; **T(17)** = 48 meses; **T(18)** = 50 meses; **T(19)** = 52 meses; **T(20)** = 54 meses; **T(21)** = 56 meses; **T(22)** = 58 meses; **T(23)** = 60 meses; **T(24)** = 62 meses; **T(26)** = 64 meses; **T(27)** = 66 meses; **T(28)** = 68 meses; **T(29)** = 70 meses; **T(30)** = 72 meses; **T(31)** = 74 meses; e **T(32)** = 76 meses.

As análises estatísticas foram feitas utilizando-se o *software* SPSS

#### 4.3 - Produtividade das culturas agrícolas e florestais e uso eficiente da terra

#### 4.3.1 - Índice de Produtividade relativa (IPr)

Para a avaliação de forma individual da eficácia dos cultivos agrícolas consorciados com as culturas florestais, em relação aos seus monocultivos, foi utilizada a razão entre as suas produtividades, nos dois sistemas, de acordo com a seguinte expressão (PUIATTI *et al.*, 2000):

$$IP_r = \frac{P_c}{P_p}$$

Em que:

$IP_r$  = Índice de produtividade relativa individual da espécie principal;

$P_c$  = Produtividade da cultura agrícola em consórcio; e

$P_p$  = produtividade da cultura agrícola em monocultivos.

#### 4.3.2 - Índice de equivalência da área (IEA)

Foi utilizado o índice de equivalência da área (IEA) para avaliar a eficiência da associação de culturas agrícolas e florestais em relação aos seus respectivos monocultivos. A associação entre as culturas será benéfica quando o  $IEA > 1$ , neutra se  $IEA = 1$  e negativa para a produção pura sempre que  $IEA < 1$ . O índice de equivalência da área (IEA) foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$IEA = \frac{CF}{MF} + \frac{CA}{MA}$$

Em que:

IEA = índice de equivalência de área do sistema;

CF = produtividade da espécie florestal no consórcio ( $m^3/ha$ );

MF = produtividade das espécies florestais em monocultivo ( $m^3/ha$ );

CA = produtividade da espécie associada ( $kg/ha$ ) às espécies florestais no consórcio; e

MA = produtividade da espécie associada ( $kg/ha$ ) às espécies florestais no monocultivo.

Para obtenção da produtividade das culturas agrícolas nos consórcios e nos monocultivos, foram conduzidas considerando as seguintes características:

- **Feijão-caupi ( $\text{Kg.ha}^{-1}$ ):** Período de 2014 a 2019, considerando três safras anuais com intervalo de um (1) mês entre safras. De forma manual, ao final de cada safra, as vargens dos feijões foram colhidas, secadas ao sol, batidas e seus grãos colhidos e limpos, sendo procedida a pesagem da produção dos grãos da parcela correspondente aos tratamentos (Figura 3).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 3:** Plantio e desenvolvimento do feijão-caupi nos SAF (A), (B), (C) e colheita manual das vargens após 90 dias de cultivo (D).

- **Capim Tanzânia ( $\text{T.ha}^{-1}$ ):** Período de 2015 a 2020, considerando seis safras anuais com duração de 60 dias/safra. Foi procedido, a cada safra, o corte do capim consorciado nos SAF e no seu respectivo monocultivo, ambos submetidos aos tratamentos com fertilizantes orgânicos, selecionando, aleatoriamente de cada repetição dos tratamentos, três amostras com área útil de  $1 \text{ m}^2$  em cada parcela para estimação da produtividade total da área. Dentro desta área útil, foram cortadas todas as folhas do capim, acima de 10 cm do solo, e pesadas em seguida (Figura 4).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 4:** Marcação aleatória da área útil de 1 m<sup>2</sup> dentro de cada tratamento/repetição (A) e (B) para o corte e quantificação do peso do capim Tanzânia (C)

Ao final de cada corte para a avaliação da produtividade da forrageira, foi realizado o corte de uniformização em toda a área do experimento.

#### 4.3.3 - Média móvel simples (MMS)

Para cada cultura agrícola consorciada nos SAF com as culturas florestais, foi obtida a média móvel simples das respectivas produtividades agrícolas. Segundo Silva Filho e Campos (2021), a média móvel simples tem a possibilidade de verificar a indicação da tendência do comportamento de uma determinada variável ao longo do tempo dentro de um conjunto de dados sequenciais, possibilitando, desta maneira, a filtragem de possíveis ruídos nas oscilações dos dados.

A média móvel simples pode ser expressa, de forma adaptada, pela seguinte expressão:

$$MM_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Em que:

$MM_i$  = Média móvel no período  $i$ ;

$P_i$  = Produção ocorrida no período  $i$ ; e

$n$  = Número de períodos.

Para o cálculo da média móvel, foi considerado um intervalo de período de produção de duas safras para o capim Tanzânia e de três safras para o feijão-caupi.

- **Volume de madeira** ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ): Para cada período associado às safras das culturas agrícolas, foi obtido o volume das árvores por meio do fator de forma médio, segundo Campos e Leite (2017). Para as espécies nativas, foi considerado o valor de fator de forma médio de **0,871**, conforme proposto para as espécies da Caatinga por Souza *et al.* (2016). Já para os clones de eucaliptos (MA 2000 e MA 2001), foram utilizados os fatores de forma médio obtidos por Moreira (2018), mediante cubagem rigorosa de amostras de cada clone de eucalipto da área experimental, sendo os respectivos valores (Clone MA 2000 no espaçamento 3 m x 2 m – **0,61**; Clone MA 2000 no espaçamento 4 m x 2 m – **0,59**; Clone MA 2001 no espaçamento 3 m x 2 m – **0,54**; e Clone MA 2001 no espaçamento 4 m x 2 m – **0,58**).

$$V_t = g \cdot H \cdot ff$$



$$g = \frac{\pi(DAP^2)}{4}$$

Em que:

$V$  = Volume total;

$g$  = área seccional a 1,30 m;

$H$  = Altura total da árvore; e

$DAP$  = Diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo.

Nas árvores nativas Angico e Aroeira, em que ocorreram bifurcações no seu fuste a 1,30 m do solo, foi utilizado o diâmetro equivalente (DEq) para obtenção dos volumes. O DEq presume que a área seccional de uma árvore, com várias



ramificações (fustes), é compreendida pelo somatório das áreas seccionais de cada fuste de forma individual (SOUZA *et al.*, 2016; SILVA, 2005; FRAGA *et al.*, 2014).

$$DE_{q_j} = \sqrt{DAP_1^2 + DAP_2^2 + \dots + DAP_n^2}$$

Em que:

$DE_{q_j}$  = Diâmetro equivalente da j-ésima árvore; e

$DAP_i$  = Diâmetro à altura do peito a 1,30 m do i-ésimo fuste, (i = fuste; i = 1, 2, ...n)

#### 4.4 - Análise da viabilidade econômica do sistema agroflorestal

A análise financeira foi realizada com a finalidade de verificar se a renda gerada pelo sistema de consórcio entre as essências florestais e a cultura agrícola ou forrageira remunera ou não o capital investido e foi embasada nos métodos de avaliação de projetos florestais. Para obter as estimativas das receitas dos produtos madeireiros e dos produtos agrícolas, oriundos da venda do feijão-caupi e do capim Tanzânia, gerados nos sistemas de monocultivo e nos SAF, foi usado o valor de mercado regional, considerando sempre a sazonalidade dos preços praticados ao longo do tempo, devido aos fatores de oferta e demanda.

A avaliação financeira dos sistemas se deu conformes os seguintes parâmetros:

- **Valor Presente Líquido (VPL):** A viabilidade de um projeto de investimento, em função do uso do VPL, é analisada de forma que: se o  $VPL > 0$  e  $VLP = 0 \Rightarrow$  aceita-se o projeto, caso o  $VPL < 0 \Rightarrow$  rejeita-se o projeto (SILVA *et al.*, 2002). Como é comum em projetos florestais aplicar taxa de desconto variando de 1% a 10%, foi aplicado neste projeto uma taxa de desconto de **9,17%**, tendo esse valor como referência à taxa de juros da poupança de 6,17%, referente ao ano de 2021, acrescido de 3% de risco do empreendimento.

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

Em que:

$R_j$  = receitas no período  $j$ ;

$C_j$  = custos no período  $j$ ;

$i$  = taxa de desconto;

$j$  = período de ocorrência de  $R_j$  e  $C_j$ ; e

$n$  = duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo.

- **Valor Anual Equivalente (VAE)**: O projeto analisado será economicamente viável se o VAE for positivo, e, quanto maior o seu valor, mais interessante o projeto (SILVA *et al.*, 2002).

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

- **Valor Esperado da Terra (VET)**: A atividade será economicamente viável se o VET for maior que o preço de mercado da terra nua regional (SILVA; FONTES, 2005).

$$VET = \frac{R_j}{(1+i)^t - 1}$$

- **Taxa interna de retorno (TIR)**: O projeto será considerado viável se a TIR calculada for maior que a taxa de atratividade ou de desconto utilizada no referido projeto.

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

- **Razão Benefício/Custo (B/C)**: O projeto será considerado economicamente viável se a relação (B/C) for maior do que 1 (REZENDE; OLIVEIRA, 2008).

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

- **Análise de sensibilidade:** A fim de se verificar o comportamento da sensibilidade do VPL, em função das suas possíveis variações, foi realizada sua análise conforme as seguintes características:

- Sensibilidade do VPL mediante as variações das taxas de descontos aplicadas aos projetos agroflorestais, variando de 0% a 60% a.a;
- Sensibilidade do VPL mediante as variações de preço na venda da madeira em pé das espécies arbóreas, com variação de preço de -50% a 50%, em relação ao preço médio da madeira vendida na região, conforme utilizado nesta pesquisa; e
- Sensibilidade do VPL mediante as variações das idades dos povoamentos florestais, em função da sua rotação econômica.

#### 4.5 - Valores dos custos e receitas da implantação e condução do projeto agroflorestal

Considerando que o projeto visa atender à demanda por lenha na região, as estimativas de preço da madeira das árvores para realização das análises econômicas dos projetos foram definidas levando-se em consideração o valor de mercado regional de venda, praticado em m<sup>3</sup> de madeira em pé, com os seguintes valores:

- Para os clones de eucaliptos, o valor utilizado foi de R\$100,00 m<sup>3</sup>; e
- Para as espécies nativas, Angico e Aroeira, o valor utilizado foi de R\$ 57,00 m<sup>3</sup>.

Os custos provenientes da implantação e condução do empreendimento agroflorestal e da monocultura foram baseados nos valores definidos por Moreira (2018).

Os valores das receitas geradas pela venda da produção agrícola (feijão-caupi e do capim Tanzânia), durante todo o projeto, foram levados em consideração conforme o valor de mercado local praticado na época de colheita, considerando a sazonalidade dos preços dos produtos, mediante as adversidades econômicas, climáticas e sociais que podem influenciar no preço final da venda.

A previsão do cálculo da receita, referente à venda da madeira em pé das árvores, foi baseada levando-se em consideração um período de rotação de oito anos de idade, considerando o ano inicial do projeto em 2014. No entanto, o corte final das árvores só ocorrerá quando os incrementos médios anuais e o incremento corrente anual se cruzarem.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Taxa de mortalidade e sobrevivência em (%) das espécies arbóreas e ao longo do tempo

#### 5.1.1 - Análise aos 102 meses

Foi observado, aos oito anos e meio de cultivo das espécies arbóreas uma taxa de sobrevivência variando de 59,21% a 86,83% (Tabela 3). Esta taxa de sobrevivência teve uma maior representatividade pela espécie nativa do Angico, que apresentou somente 13,17% de mortalidade, considerando o total de árvores plantadas na área experimental. O clone MA 2001 foi o que obteve a maior taxa de mortalidade com 40,79%.

**Tabela 3:** Taxa média de mortalidade e sobrevivência em (%) das espécies arbóreas, considerando todo o experimento, aos 8 anos e meio (102 meses)

<i>Espécies arbóreas</i>	<b>Mortalidade média (%)</b>	<b>Sobrevivência média (%)</b>
<i>Ma 2001</i>	40,79	59,21
<i>Ma 2000</i>	21,71	78,29
<i>Angico</i>	13,17	86,83
<i>Aroeira</i>	22,88	77,12

Fonte: O autor (2023)

Quando considerados os diferentes tipos de cultivo e espaçamentos do experimento, o sistema agroflorestal com o capim Tanzânia e o sistema de monocultivo com espaçamento 3 m x 2 m foram os que obtiveram as maiores taxas de sobrevivência, variando entre 85,10% e 85,77% (Tabela 4). O sistema agroflorestal consorciado com o feijão-caupi também se manteve com alta taxa de sobrevivência (73,44%), no entanto, no sistema de monocultivo com espaçamento de 4 m x 2 m, a taxa de mortalidade ficou acima dos 42%, considerando todas as quatro espécies florestais pertencentes a essa forma de cultivo e espaçamento.

**Tabela 4:** Taxa média de mortalidade e sobrevivência em (%) dos diferentes tipos de cultivos e espaçamentos, considerando todo o experimento, aos 8 anos e meio (102 meses)

<i>Tipo de cultivo e espaçamento</i>	<b>Mortalidade média (%)</b>	<b>Sobrevivência média (%)</b>
<i>Monocultivo (3 m x 2 m)</i>	14,23	85,77
<i>Monocultivo (4 m x 2 m)</i>	42,86	57,14
<i>SAF Capim (4 m x 2 m)</i>	14,90	85,10
<i>SAF Feijão (4 m x 2 m)</i>	26,56	73,44

Fonte: O autor (2023)

Analisando-se individualmente cada forma de cultivo com seu respectivo espaçamento e cultura arbórea (Tabela 5), foi observado que, no sistema de monocultivo com 3 m x 2 m, todas as quatro espécies se mantiveram com taxa de sobrevivência acima dos 71%, sendo o Angico a espécie que melhor se adaptou a esta forma de cultivo e espaçamento ao longo dos oito anos e meio de plantio, apresentando somente uma taxa de mortalidade de 6,03%.

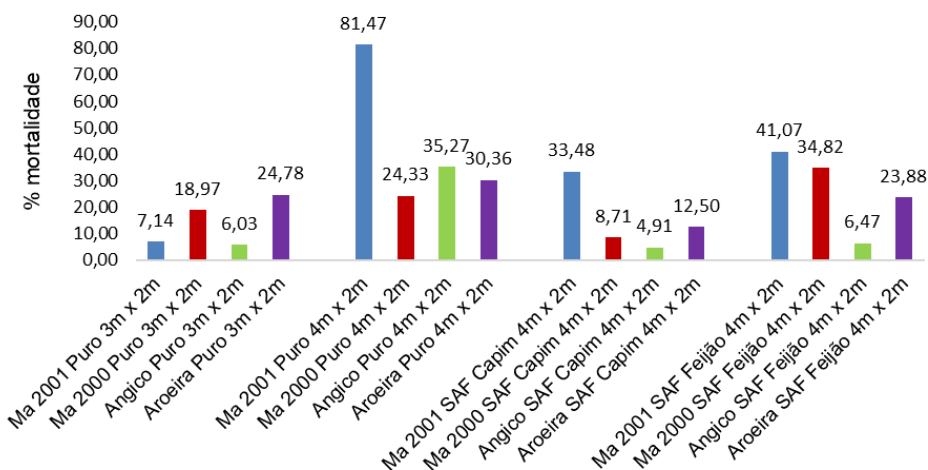
**Tabela 5:** Taxa média de mortalidade e sobrevivência em (%) das espécies arbóreas nos diferentes tipos de cultivos e espaçamentos, considerando todo o experimento, aos 8 anos e meio (102 meses)

<i>Espécie arbórea/ tipo de cultivo</i>	<b>Mortalidade média (%)</b>	<b>Sobrevivência média (%)</b>
<i>Ma 2001 Monocultivo (3 m x 2 m)</i>	7,14	92,86
<i>Ma 2000 Monocultivo (3 m x 2 m)</i>	18,97	81,03
<i>Angico Monocultivo (3 m x 2 m)</i>	6,03	93,97
<i>Aroeira Monocultivo (3 m x 2 m)</i>	24,78	75,22
<i>Ma 2001 Monocultivo (4 m x 2 m)</i>	81,47	18,53
<i>Ma 2000 Monocultivo (4 m x 2 m)</i>	24,33	75,67
<i>Angico Monocultivo (4 m x 2 m)</i>	35,27	64,73
<i>Aroeira Monocultivo (4 m x 2 m)</i>	30,36	69,64
<i>Ma 2001 SAF CT (4 m x 2 m)</i>	33,48	66,52
<i>Ma 2000 SAF CT (4 m x 2 m)</i>	8,71	91,29
<i>Angico SAF CT (4 m x 2 m)</i>	4,91	95,09
<i>Aroeira SAF CT (4 m x 2 m)</i>	12,50	87,5
<i>Ma 2001 SAF Feijão (4 m x 2 m)</i>	41,07	58,93
<i>Ma 2000 SAF Feijão (4 m x 2 m)</i>	34,82	65,18
<i>Angico SAF Feijão (4 m x 2 m)</i>	6,47	93,53
<i>Aroeira SAF Feijão (4 m x 2 m)</i>	23,88	76,12

Em que: CT = capim Tanzânia

Fonte: O autor (2023)

Já no monocultivo com espaçamento 4 m x 2 m, foi constatada a maior taxa de mortalidade das espécies arbóreas de todo o experimento, sendo o clone MA 2001 o que mais obteve o maior número de indivíduos mortos, com taxa superior a 81% (Figura 5).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 5:** Mortalidade (%) das espécies arbóreas nos diferentes tipos de cultivos e espaçamentos, considerando todo o experimento, aos oito anos e meio (102 meses).

Tal fato pode ser justificado devido ao fato de que, na área cultivada, ao longo do tempo, desenvolveram-se manchas em seu solo com elevado teor de salinização, o que prejudicou o desenvolvimento das espécies arbóreas, principalmente a do clone MA 2001, que se concentrava em sua maior parte nessas respectivas áreas (SANTOS, 2016; MOREIRA, 2018).

Nos sistemas agroflorestais, tanto com o capim Tanzânia quanto com o feijão-caupi, as espécies nativas, Angico e Aroeira, foram as que mais tiveram sucesso na sobrevivência das espécies, com taxas variando de 76,12% a 95,09%, sendo o Angico a espécie que mais se adaptou nas áreas de consórcio, tanto no sistema em SAF com o capim Tanzânia, com 95,09% de sobrevivência, quanto no SAF com feijão-caupi, com taxa de sobrevivência superior a 93%. Em relação aos clones de eucaliptos, nas duas formas de cultivos consorciados, os dois clones mantiveram as taxas de mortalidade abaixo dos 41%, sendo o clone MA 2000 a espécie que, em média, nos dois tipos de consórcios, obteve a maior taxa de sobrevivência, com 78,23% em relação ao clone MA 2001, que alcançou, em média, 62,72% de sobrevivência da espécie.

Oliveira *et al.* (2021) evidenciam que o sucesso da sobrevivência de clones de eucaliptos em sistemas de consórcios ocorre, principalmente, em função das pesquisas avançadas em melhoramento genético desenvolvidas nos últimos anos para as espécies do eucalipto, proporcionando mudas de excelente qualidade, com

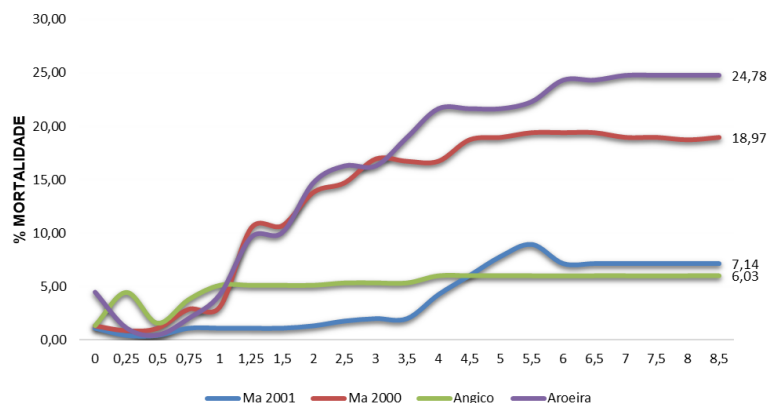
alta taxa de adaptabilidade a associações com outras espécies e a diferentes condições ambientais.

### 5.1.2 - Mortalidade ao longo do tempo

Ao avaliar a taxa de mortalidade das espécies florestais ao longo do tempo, considerando as quatro formas de cultivos florestais com seus respectivos espaçamentos, pode-se observar que a distribuição da taxa de mortalidade ocorreu principalmente ao longo dos três primeiros anos de plantio, sendo bastante evidente no cultivo em SAF com os clones de eucaliptos MA 2001 e MA 2000, tanto com o capim Tanzânia quanto com o feijão-caupi (Figura 8 e Figura 9). Tal fato pode ser explicado devido à elevada competição existente nas primeiras fases de desenvolvimento das espécies consorciadas. Já as espécies nativas foram bem adaptadas nos primeiros três anos de plantio, com pequena exceção da Aroeira no monocultivo 3 m x 2 m, que teve sua taxa de mortalidade, ao longo do tempo, acima das demais espécies florestais, no entanto, dentro de limite tolerável, abaixo dos 20% de mortalidade (Figura 6).

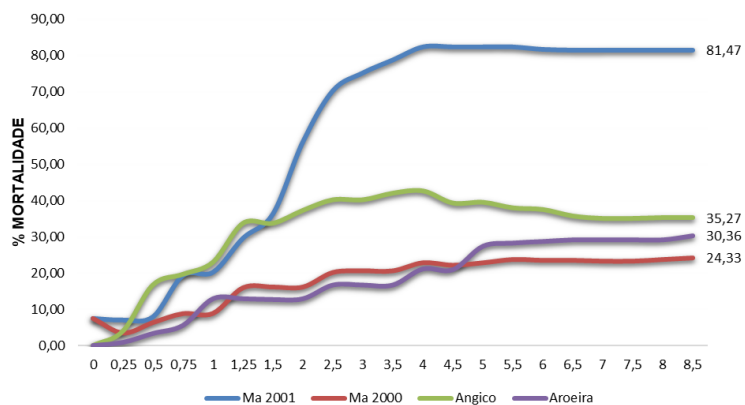
Outro ponto a ser evidenciado em relação ao crescimento contínuo de mortalidade dos clones de eucaliptos nos primeiros anos de plantio pode ser atribuído ao período de seca sucedida na região do experimento ao longo dos anos de 2012 a 2017, como explica Santos *et al.* (2022), que, no período específico, ocorreu, na região do Nordeste brasileiro, o efeito El Niño, ocasionando redução drástica dos níveis pluviométricos, que resultaram em sérios danos socioambientais e econômicos no semiárido nordestino.

Como os clones MA 2000 e MA 2001 são provenientes do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, a taxa de mortalidade observada nesse período pode ter sido influenciada diretamente pelo estresse hídrico, ocasionado, principalmente, pela forte estiagem, nas condições de carência de água do solo. Segundo Chen *et al.* (2020), a eficiência de água da espécie *Eucalyptus urophylla* é muito afetada pelas condições de seca, ocasionando, assim, falhas hidráulicas em toda a planta, visto que esta espécie tem uma alta vulnerabilidade à embolia do xilema sob condições climáticas adversas, principalmente ocasionadas por estiagens severas, ameaçando, desta maneira, a sobrevivência dos indivíduos nos primeiros anos de plantio.



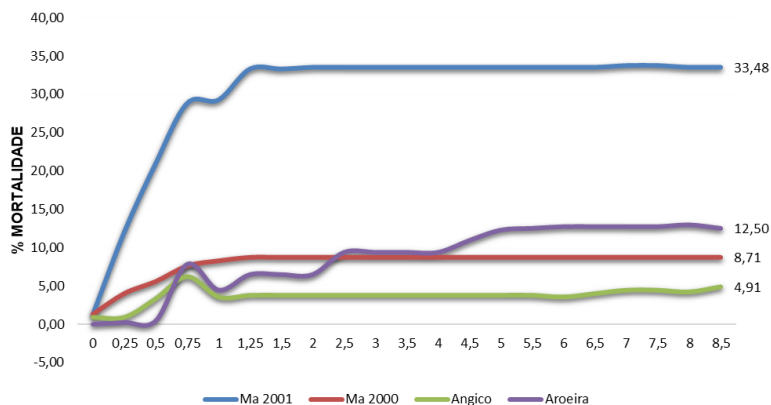
Fonte: O autor (2023)

**Figura 6:** Mortalidade (%) das espécies arbóreas, ao longo do tempo, no monocultivo com espaçamento 3 m x 2 m.



Fonte: O autor (2023)

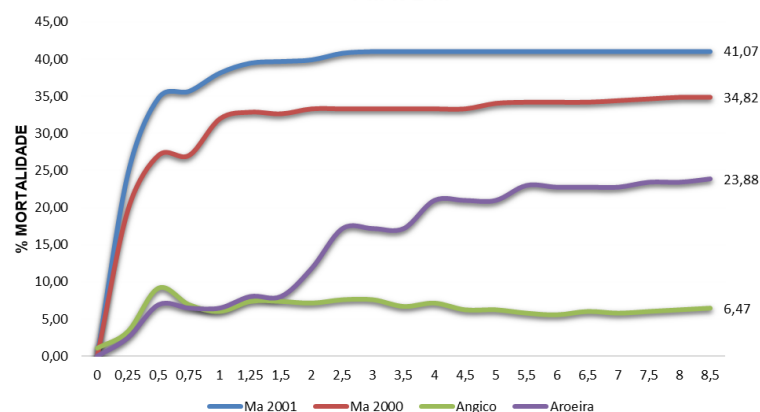
**Figura 7:** Mortalidade (%) das espécies arbóreas, ao longo do tempo, no monocultivo com espaçamento 4 m x 2 m.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 8:** Mortalidade (%) das espécies arbóreas, ao longo do tempo, no cultivo SAF com capim Tanzânia no espaçamento 4 m x 2 m.





Fonte: O autor (2023)

**Figura 9:** Mortalidade (%) das espécies arbóreas, ao longo do tempo, no cultivo SAF com feijão, no espaçamento 4 m x 2 m.

## 5.2 - Incrementos volumétricos das espécies arbóreas do experimento ao longo do tempo nos diferentes tipos de cultivo e espaçamento

### 5.2.1 - Monocultivo no espaçamento 3 m x 2 m

Na Tabela 6, são apresentados os resultados da produção volumétrica ao longo do tempo das espécies arbóreas e seus respectivos incrementos volumétricos no monocultivo, com espaçamento de 3 m x 2 m.

**Tabela 6:** ICA e IMA em monocultivo no espaçamento 3 m x 2 m, considerando a taxa de sobrevivência de cada espécie ao longo do tempo

Espécies arbóreas		Idade (anos)							
		1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
Ma 2001	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	33,66	42,67	44,72	50,78	63,55	92,54	138,02	175,25
	ICA	33,66	9,01	2,05	6,06	12,77	29,00	45,48	37,22
	IMA	22,44	17,07	12,78	11,28	11,55	14,24	18,40	20,62
Ma 2000	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	9,32	12,35	15,31	19,28	28,56	46,04	70,49	89,20
	ICA	9,32	3,03	2,97	3,97	9,28	17,48	24,45	18,71
	IMA	6,21	4,94	4,37	4,28	5,19	7,08	9,40	10,49
Angico	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	2,71	7,82	13,29	18,67	28,42	45,09	60,38	82,65
	ICA	2,71	5,12	5,47	5,38	9,75	16,67	15,29	22,27
	IMA	1,80	3,13	3,80	4,15	5,17	6,94	8,05	9,72
Aroeira	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	0,74	1,32	2,36	4,42	7,86	14,34	17,73	27,28
	ICA	0,74	0,58	1,03	2,07	3,43	6,49	3,39	9,54
	IMA	0,50	0,53	0,67	0,98	1,43	2,21	2,36	3,21

Fonte: O autor (2023)

Percebeu-se que o clone MA 2001, nessas características, apresentou variação de 33,66 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 175,25 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, tendo um ganho de aproximadamente 141,59 m<sup>3</sup>/ha ao longo de seus oito anos e meio de idade, com incremento médio anual (IMA)

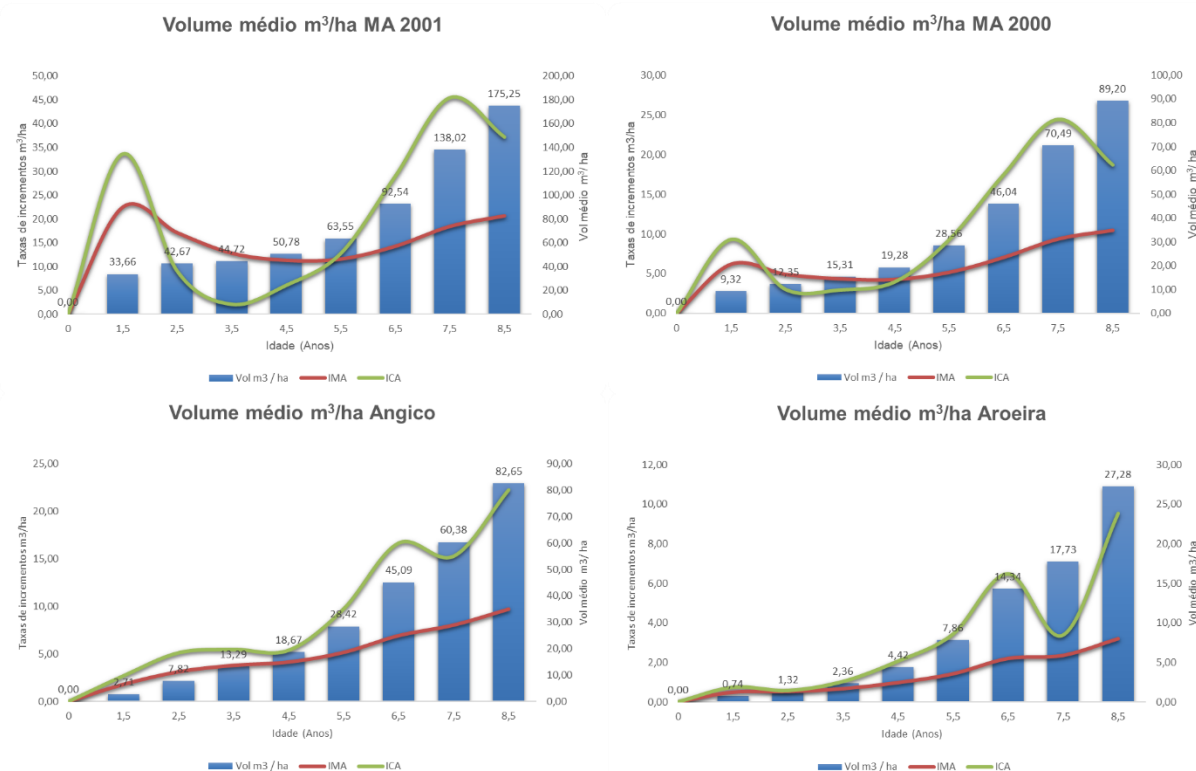
variando de 20,62 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 22,44 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e incremento corrente anual oscilando entre 33,66 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 37,22 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já o clone MA 2000 teve uma variação no ganho volumétricos ao longo do tempo menor em relação ao clone MA 2001, com 9,32 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 89,20 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA variando de 6,21 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 10,49 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, levando-se em consideração que a taxa de sobrevivência das árvores do clone MA 2001 foi aproximadamente 93%, mostrando-se maior que a do Clone MA 2000, com 81%.

Pereira, *et al.* (2015) obtiveram, em sua pesquisa com clones de *Eucalyptus urophylla* nos espaçamentos 3 m x 2 m, em monocultivos, aos 60 meses de idade, valores de produção volumétricos de 77,75 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e IMA de 15,55 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, próximos ao encontrado nesta pesquisa para o clone MA 2001 e acima da produção do clone MA 2000 de mesma idade.

Castro *et al.* (2017), trabalhando com clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, no espaçamento 3 m x 2,5 m, obtiveram, aos seis anos e meio de idade do plantio, IMA de 42,9 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, valor acima do encontrado para o clone MA 2001, aos 6,5 anos, de 14,24 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e do clone MA 2000, nesta mesma idade, com 7,08 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Esta diferenciação pode ser atribuída ao local de cultivo, ao tipo de solo, ao manejo realizado na área e da procedência genética das mudas utilizadas.

Watzlawick e Benin (2020), pesquisando o gênero *Eucalyptus sp.* em diferentes densidades de plantio para estudo de produção volumétrica, mediante uso de mudas melhoradas geneticamente, obtiveram, no espaçamento 3 m x 2 m, aos seis anos de idade, 392,08 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA de 65,35 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Tais resultados reforçam a ideia de que o volume por hectare, nos espaçamentos mais adensados, está estritamente correlacionado a um maior ganho volumétrico em função do maior número de árvores por unidade de área.

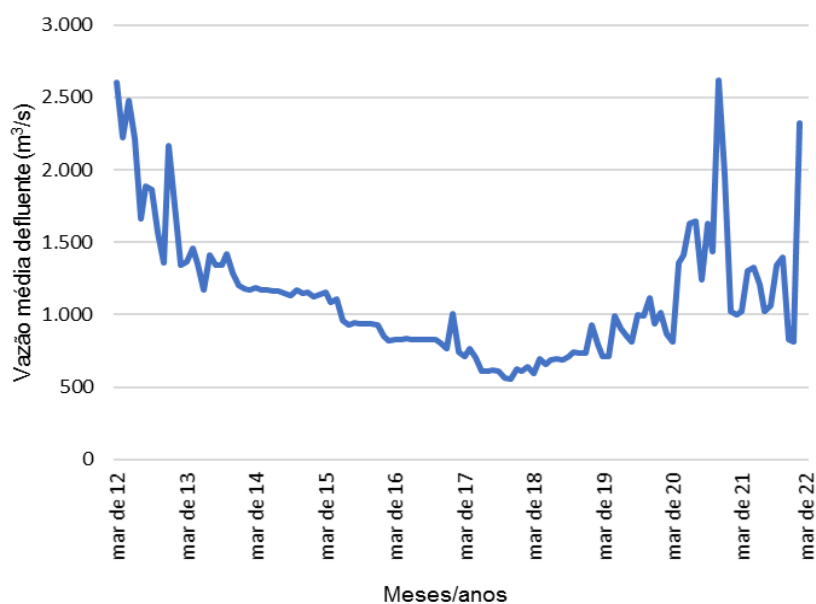
Foi verificada uma queda acentuada na produção volumétrica nos dois primeiros anos do plantio nos Clones MA 2001 e MA 2000 e aumento do incremento corrente anual (ICA) após os três anos e meio do plantio (Figura 10).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 10:** Curvas de ICA e IMA das espécies arbóreas em monocultivo, no espaçamento 3 m x 2 m, ao longo do tempo.

Este comportamento se repetiu nos demais cultivos do experimento, tanto no monocultivo 4 m x 2 m, no SAF com o feijão-caupi, e um pouco menos acentuado no SAF com o capim Tanzânia. Tal fato pode ser explicado devido à diminuição gradual da vazão média defluente ( $m^3/s$ ) das águas do rio São Francisco pela barragem de Sobradinho – Bahia, regulada pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, em virtude do período crítico de estiagem que assolou a região do alto e médio São Francisco no período compreendido entre março de 2012 e dezembro de 2017 (ONS, 2022), (Figura 11).



Fonte: ONS (2022)

**Figura 11:** Dados hidrológicos referentes à vazão média defluente ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) da bacia do São Francisco, reservatório de Sobradinho - BA, referente ao período de março de 2012 a março de 2022.

Essa redução de água pela CHESF ocasionou o rebaixamento dos níveis de água do médio São Francisco, após a barragem de Sobradinho, influenciando de forma direta nas cidades adjacentes às margens do rio.

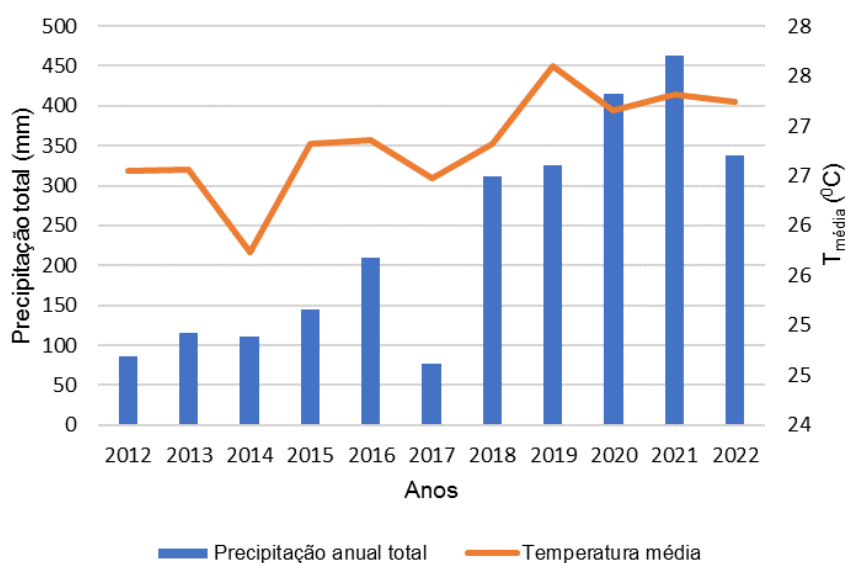
Como o experimento está localizado numa ilha, banhada pelo rio São Francisco, e com a redução da lâmina d'água no período de diminuição da vazão, ocorreu a redução dos níveis do lençol freático da ilha, dificultando o desenvolvimento das árvores dos clones de eucaliptos mediante o comprometimento na captação de água nas camadas mais superficiais do solo.

Segundo Skiadaresis *et al.* (2019), as variações nos regimes das águas subterrâneas nos lençóis freáticos, ocasionadas, principalmente, pela extração de água ou nas regulamentações dos rios por meio do controle das águas pelos reservatórios hídricos, têm sido associadas à redução da produtividade e vitalidade de espécies arbóreas sensíveis a esses processos.

Após esse período crítico, com o início de 2018, ocorreu o aumento gradual da vazão média defluente das águas pela CHESF em Sobradinho - BA, e, conseqüentemente, no acréscimo de água no nível do rio São Francisco. Tal fato pode ter contribuído no aumento do lençol freático da ilha, proporcionando, assim, ganho

progressivo nos incrementos volumétricos das árvores dos clones de eucaliptos do experimento, pela disponibilidade maior de água para as plantas.

Outro fator importante que pode ter contribuído para esse declínio no incremento volumétricos das árvores dos clones de eucaliptos do experimento foi o baixo índice pluviométrico ocorrido na região de Belém de São Francisco – Pernambuco, no período de 2012 a 2017 (Figura 12).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 12:** Dados referentes ao climatograma da microrregião de Itaparica – Belém de São Francisco – PE, entre os períodos de 2012 a 2022.

A precipitação média nesta região, no período compreendido de seis anos, 2012 a 2017, foi de aproximadamente de 123 mm/ano. Após este período de estiagem na região, ocorreu um aumento significativo de chuvas a partir de 2018 até 2021, com aumento aproximado para 379 mm/ano (AGRITEMPO, 2022; APAC, 2022).

Tais fatos, como redução dos níveis dos rios e diminuição nos regimes de chuvas, interagindo entre si, segundo Skiadaresis *et al.* (2019), podem induzir diretamente no controle do crescimento das árvores em ambientes florestais, influenciados diretamente por esses sistemas.

As espécies Angico, com o IMA variando de 1,8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 9,72 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, e a Aroeira, com IMA variando de 0,50 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 3,21 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, até os três anos e meio de idade, não apresentaram, de forma significativa, declínio do incremento volumétrico das árvores nos primeiros anos de plantio, visto que, por terem seu crescimento inicial

lento e por serem espécies nativas da Caatinga, apresentaram comportamentos fisiológico e morfológico bem adaptados às variações climáticas da região do semiárido (VERA CRUZ *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Foi observado nas espécies nativas que o aumento do incremento corrente anual volumétrico ocorreu, aproximadamente, a partir dos três anos e meio do plantio, visto que, antes deste período, poucas árvores haviam atingido a circunferência à altura do peito (CAP) com valor mínimo de 9,0 cm, não permitindo os cálculos volumétricos. Observa-se que, na Aroeira, no monocultivo (3mx2m), de forma mais acentuada em comparação ao Angico, ocorreu um declínio na curva incremento corrente anual aos seis anos e meio. Tal fato pode ser explicado devido ao aumento significativo de espécies invasoras entre as árvores da Aroeira, por não terem atingido seu porte alto para sombrear as áreas de plantio, aumentando, assim, significativamente, a competição por nutrientes essenciais existente entre as plantas, dificultando, de forma direta, seu crescimento e desenvolvimento.

De acordo com Medeiros *et al.* (2016), a presença de plantas invasoras em ambientes florestais é um dos grandes problemas encontrados na condução e manutenção dos povoamentos, podendo ocasionar, além da competição por luz, água e nutrientes, o aparecimento e hospedagem de pragas e doenças, dificultando, assim, os tratos silviculturais e possibilitando, em casos específicos, o aparecimento de alelopatias com as espécies florestais.

#### 5.2.2 - Monocultivos no espaçamento 4mx2m

Na Tabela 7 são apresentados os valores ICA e IMA das espécies arbóreas no monocultivo com espaçamento de 4 m x 2 m.

**Tabela 7:** ICA e IMA em monocultivo, no espaçamento 4 m x 2 m, considerando a taxa de sobrevivência de cada espécie ao longo do tempo

Espécies arbóreas		Idade (anos)							
		1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
Ma 2001	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	3,76	3,76	3,77	4,70	7,10	13,54	21,08	29,42
	ICA	3,76	0,00	0,01	0,93	2,40	6,44	7,54	8,34
	IMA	2,51	1,51	1,08	1,04	1,29	2,08	2,81	3,46
Ma 2000	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	7,54	13,49	16,10	18,47	25,43	46,16	74,54	95,09
	ICA	7,54	5,95	2,62	2,36	6,96	20,73	28,38	20,55
	IMA	3,77	4,50	4,03	3,69	4,24	6,59	9,32	11,19
Angico	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	0,14	0,58	2,14	4,88	10,14	23,33	33,58	47,45
	ICA	0,14	0,44	1,56	2,74	5,25	13,19	10,24	13,87
	IMA	0,10	0,23	0,61	1,09	1,84	3,59	4,48	5,58
Aroeira	$\bar{V}o\bar{l}$ m <sup>3</sup> /ha	0,00	0,00	0,27	0,74	1,71	4,39	7,85	11,54
	ICA	0,00	0,00	0,27	0,47	0,98	2,68	3,46	3,70
	IMA	0,00	0,00	0,08	0,16	0,31	0,68	1,05	1,36

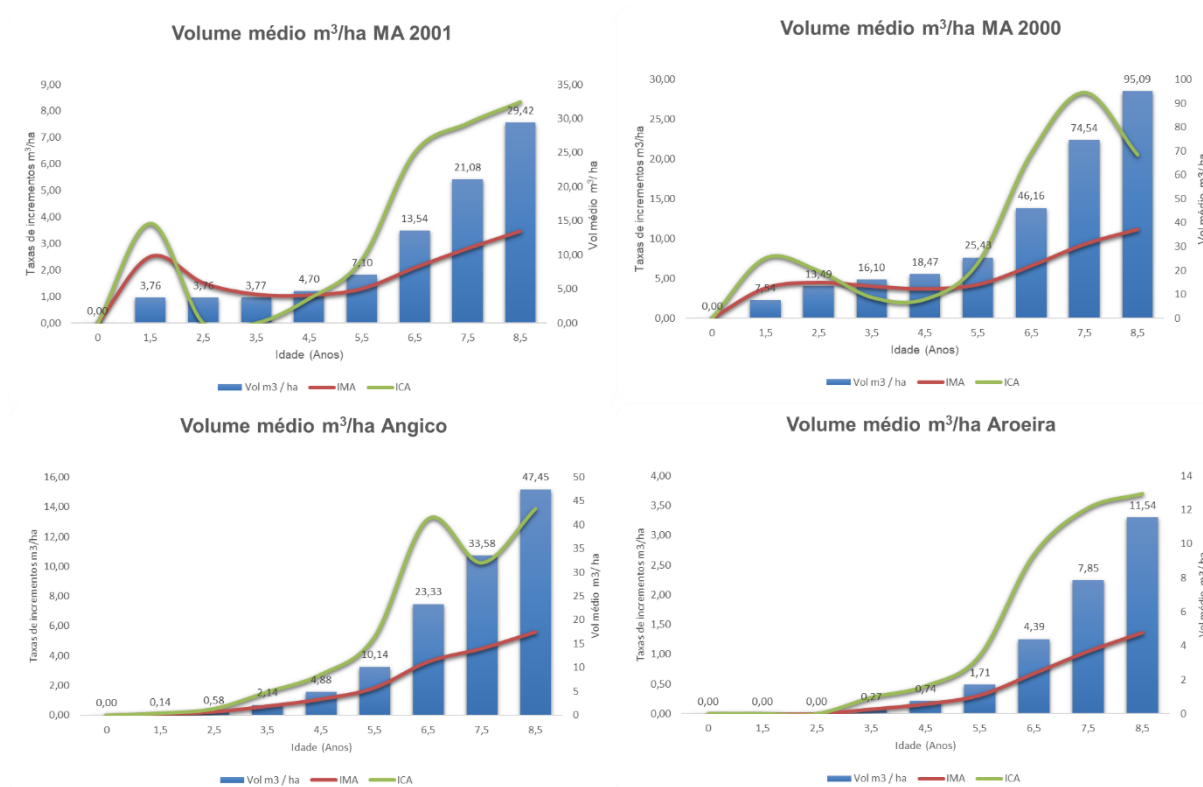
Fonte: O autor (2023)

O clone MA 2001, que teve em sua área de cultivo mais de 81 % de mortalidade das árvores ao longo dos oito anos e meio de plantio, apresentou o volume médio por hectare abaixo do esperado, variando de 3,76 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 29,42 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA alternando entre 2,51 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 3,46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, considerando todas as árvores remanescentes do talhão.

Já o Clone MA 2000, nas mesmas condições de cultivo, teve seu desempenho volumétrico superior, variando de 7,54 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 95,09 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com seu respectivo IMA ficando entre 3,77 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 11,19 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com mais de 76% de sobrevivência. Mesmo apresentando sérios problemas no solo, o que prejudicou a sobrevivência dos clones de eucaliptos, os valores do IMA obtidos aos 102 meses do clone MA 2000 foram superiores ao encontrado por Porfírio (2018), com *Eucalyptus urophylla* plantada com o mesmo espaçamento numa região do semiárido do estado de Pernambuco, quando o valor do IMA, aos 96 meses, ficou em 8,6 m<sup>3</sup>/ha/ano, valor um pouco abaixo do que se espera para essa idade em árvores de eucaliptos, que, segundo a autora, foram similares à produção volumétrica de espécies característicos da Caatinga.

Watzlawick e Benin (2020), considerando maiores espaçamentos entre plantas, encontraram para o *Eucalyptus sp.*, no espaçamento 4 m x 3 m aos seis anos em monocultivo, volume por hectare de 293,5 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Os autores concluíram que nesse espaçamento, apesar do ganho individual de volume por árvore, a produção volumétrica total foi menor do que nos espaçamentos mais adensados.

Já o Angico em monocultivo, no espaçamento 4 m x 2 m, teve seu IMA variando de 0,10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 5,58 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com 65 % de taxa de sobrevivência média. A Aroeira obteve valores de IMA inferiores, variando de 0,08 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> aos três anos e meio a 1,36 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Figura 13).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 13:** Curvas de ICA e IMA das espécies arbóreas em monocultivo, no espaçamento 4 x 2 (m) ao longo do tempo.

Esta baixa taxa de incremento volumétrico ocorreu em razão da taxa de mortalidade, de aproximadamente 29% entre as plantas, e do seu pequeno porte de desenvolvimento em relação à altura e diâmetro, devido à lentidão do seu crescimento, característica de plantas nativas da Caatinga.

### 5.2.3 - Cultivo em SAF com capim Tanzânia no espaçamento 4 m x 2 m

Na Tabela 8, são apresentados os valores de ICA e IMA das espécies arbóreas em cultivo em SAF consorciadas com a espécie forrageira do capim Tanzânia, no espaçamento 4 m x 2 m.



**Tabela 8:** ICA e IMA em SAF com capim Tanzânia, no espaçamento 4 m x 2 m, considerando a taxa de sobrevivência de cada espécies ao longo do tempo

Espécies arbóreas		Idade (anos)							
		1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
Ma 2001	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	6,49	17,73	29,01	42,00	67,23	102,91	138,97	169,57
	ICA	6,49	11,24	11,28	12,99	25,23	35,67	36,06	30,60
	IMA	4,33	7,09	8,29	9,33	12,22	15,83	18,53	19,95
Ma 2000	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	11,18	21,75	28,87	35,78	51%	77,26	97,40	114,78
	ICA	11,18	10,56	7,12	6,91	14,27	27,21	20,14	17,39
	IMA	7,46	8,70	8,25	7,95	9,10	11,89	12,99	13,50
Angico	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	1,01	4,50	14,91	30,01	48,43	69,96	83,15	96,43
	ICA	1,01	3,49	10,42	15,10	18,42	21,53	13,19	13,28
	IMA	0,67	1,80	4,26	6,67	8,81	10,76	11,09	11,34
Aroeira	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	0,01	0,01	0,25	0,64	0,99	1,51	2,73	7,83
	ICA	0,01	0,00	0,24	0,39	0,35	0,52	1,22	5,11
	IMA	0,00	0,00	0,07	0,14	0,18	0,23	0,36	0,92

Fonte: O autor (2023)

O clone MA 2001 obteve maior produção volumétrica ao longo do tempo, em comparação ao clone MA 2000, obtendo volume variando de 6,49 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 169,57 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA de 4,33 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> à 19,95 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já o clone MA 2000 obteve volume entre 11,18 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 114,78 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, aproximadamente inferior ao clone MA 2001, aos oito anos e meio, em 21%.

Percebe-se que a queda da produção referente ao ICA, logo nos primeiros anos do plantio, foi bem menor em relação às outras formas de cultivo/espaçamento do experimento, devido aos fatores hidrológicos e climatológicos ocorridos na região.

Tal fato pode ser explicado porque, existindo a consorciação das espécies arbóreas com a forrageira do capim Tanzânia entre as linhas das árvores, o solo se manteve com a umidade ao longo do tempo, favorecida tanto pela irrigação no sistema de cultivo como na cobertura do solo preenchida pela cultura agrícola. Estas características reduziram significativamente a perda de água superficial do solo pela evaporação, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das árvores associadas ao sistema de cultivo nos períodos climáticos mais críticos ocorridos na região.

Fato confirmado por Limberger *et al.* (2020), que, estudando a umidade e a disponibilidade de água no solo em monocultivo de pastagem e em sistema silvipastoril com eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e grama-estrelaroxa (*Cynodon nlemfuensis*), verificaram que nos solos consorciados com eucaliptos, a umidade se manteve dentro dos limites da água disponível nas camadas superficiais nos primeiros horizontes de solo A (0-0,2 m) e Bw1 (0,2-0,4), concluindo que o sistema silvipastoril com eucalipto favorece a manutenção do conteúdo de água no solo nas suas

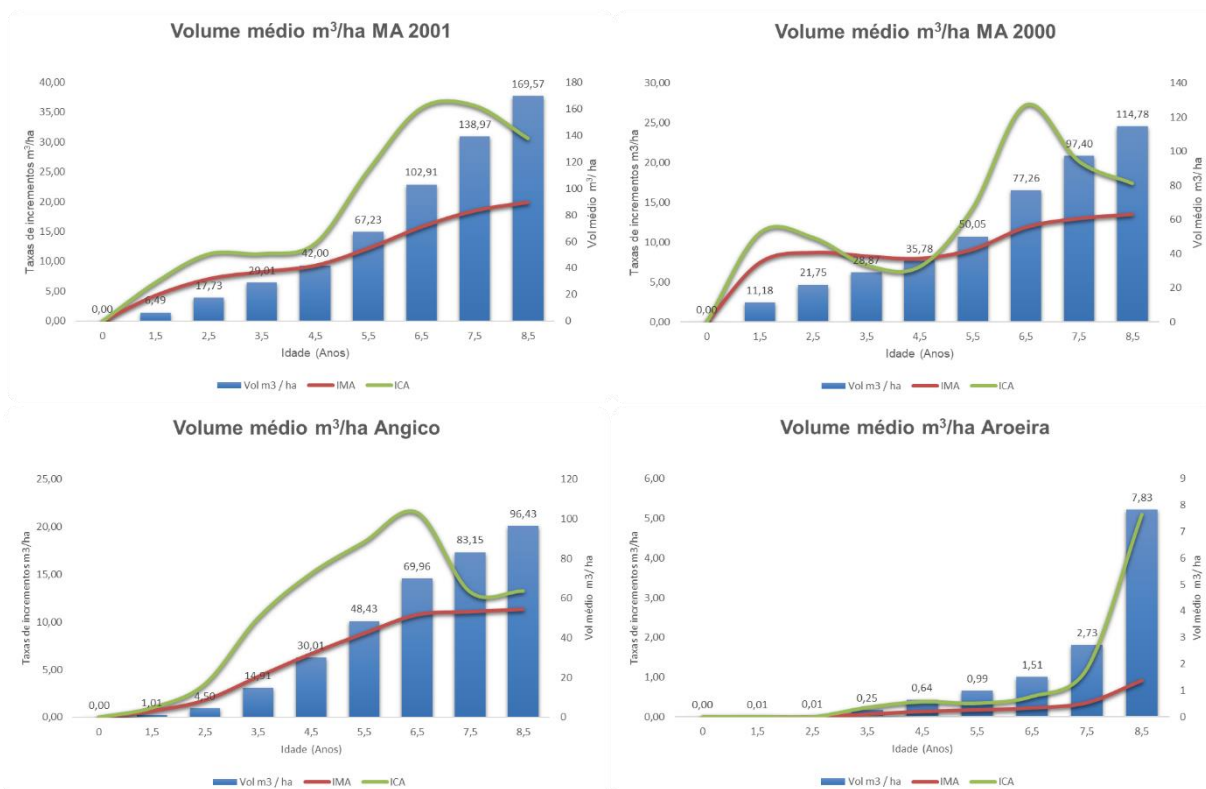
primeiras camadas, beneficiando as duas culturas consorciadas durante as quatro estações do ano.

Fernández *et al.* (2008) estudaram as interações existentes da água em um sistema agroflorestal no semiárido temperado, com gramínea patagônica. Os autores observaram que, no sistema de consórcio entre as espécies, ocorreu uma reciprocidade no uso da água do solo pelas culturas, e, no caso específico, as árvores consorciadas em sistemas agroflorestais consumiram menos água rasa do que as árvores cultivadas em monocultura, podendo resultar num efeito positivo na interação das espécies.

Nas culturas florestais nativas em consórcio com a forrageira, o Angico apresentou produção variando de 1,01 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 96,43 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, o que corresponde ao IMA alternando entre 0,67 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 11,34 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com queda acentuada no ICA aos seis anos e meio.

Sabatia e Burkhart (2012), avaliando as consequências existentes em função da densidade de plantio de dois tipos de povoamento, em função da estrutura de suas copas (larga e estreita), concluíram que, com o aumento da densidade populacional com espécies de copas largas, ocorre um aumento significativo na competição intraespecífica entre as plantas, tendo um impacto maior no reflexo do incremento da área basal do povoamento, influenciando, desta forma, a produtividade volumétrica da área.

A Aroeira teve sua produção reduzida na interação com o capim Tanzânia nos primeiros anos de plantio, com volume oscilando entre 0,01 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 7,83 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> aos oito anos e meio de idade. Tal evidência para esta baixa produção volumétrica se justifica pelo lento crescimento da espécie. A partir do momento em que o capim Tanzânia diminui a sua incidência na área consorciada, a partir dos seis anos e meio, as árvores da Aroeira começaram a se desenvolver de forma mais significativa, aumentando, assim, o ganho no incremento volumétrico a partir dos sete anos de idade, conforme Figura 14.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 14:** Curvas de ICA e IMA das espécies arbóreas em cultivo em SAF com capim Tanzânia, no espaçamento 4 m x 2 m, ao longo do tempo.

#### 5.2.4 - Cultivo em SAF com feijão-caupi no espaçamento 4 m x 2 m

Na Tabela 9, são descritos os ICAs e IMAs das espécies arbóreas em cultivo em SAF com feijão-caupi, no espaçamento 4 m x 2 m.

**Tabela 9:** ICA e IMA em cultivo em SAF com feijão Caupi no espaçamento 4 m x 2 m, considerando a taxa de sobrevivência de cada espécie ao longo do tempo

Espécies arbóreas		Idade (anos)							
		1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
Ma 2001	Vol m³/há	9,62	19,09	23,30	29,31	40,07	60,11	82,20	105,29
	ICA	9,62	9,47	4,21	6,00	10,77	20,04	22,09	23,09
	IMA	6,42	7,64	6,66	6,51	7,29	9,25	10,96	12,39
Ma 2000	Vol m³/ha	6,47	14,43	19,58	23,61	32,65	46,53	65,55	84,07
	ICA	6,47	7,97	5,14	4,03	9,04	13,88	19,02	18,53
	IMA	4,31	5,77	5,59	5,25	5,94	7,16	8,74	9,89
Angico	Vol m³/ha	0,93	2,78	7,04	12,62	22,16	39,01	53,50	67,56
	ICA	0,93	1,85	4,27	5,58	9,54	16,85	14,49	14,06
	IMA	0,62	1,11	2,01	2,80	4,03	6,00	7,13	7,95
Aroeira	Vol m³/ha	0,00	0,01	0,75	1,76	3,78	10,21	15,05	20,97
	ICA	0,00	0,01	0,74	1,01	2,02	6,42	4,84	5,92
	IMA	0,00	0,00	0,21	0,39	0,69	1,57	2,01	2,47

Fonte: O autor (2023)

O clone MA 2001 variou no seu ganho em produção volumétrica de 9,62 m<sup>3</sup>/ha a 105,29 m<sup>3</sup>/ha, com IMA variando de 6,42 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 12,39 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, valores baixos, quando comparados ao SAF com o capim Tanzânia. Já em comparação com a produção volumétrica do clone 2000, seus valores ficaram abaixo dos obtidos com o clone MA 2001, com valores variando entre 6,47 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 84,07 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA correspondente a 4,31 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 9,89 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Estes valores ficaram abaixo do encontrado por Torres *et al.* (2016), que avaliando a produtividade de clones de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) aos 32 meses, em sistemas agroflorestais consorciados com feijão (*Phaseolus vulgaris*), encontraram valores de IMA de 21,91 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> para eucalipto com casca e 18,35 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> para sem casca.

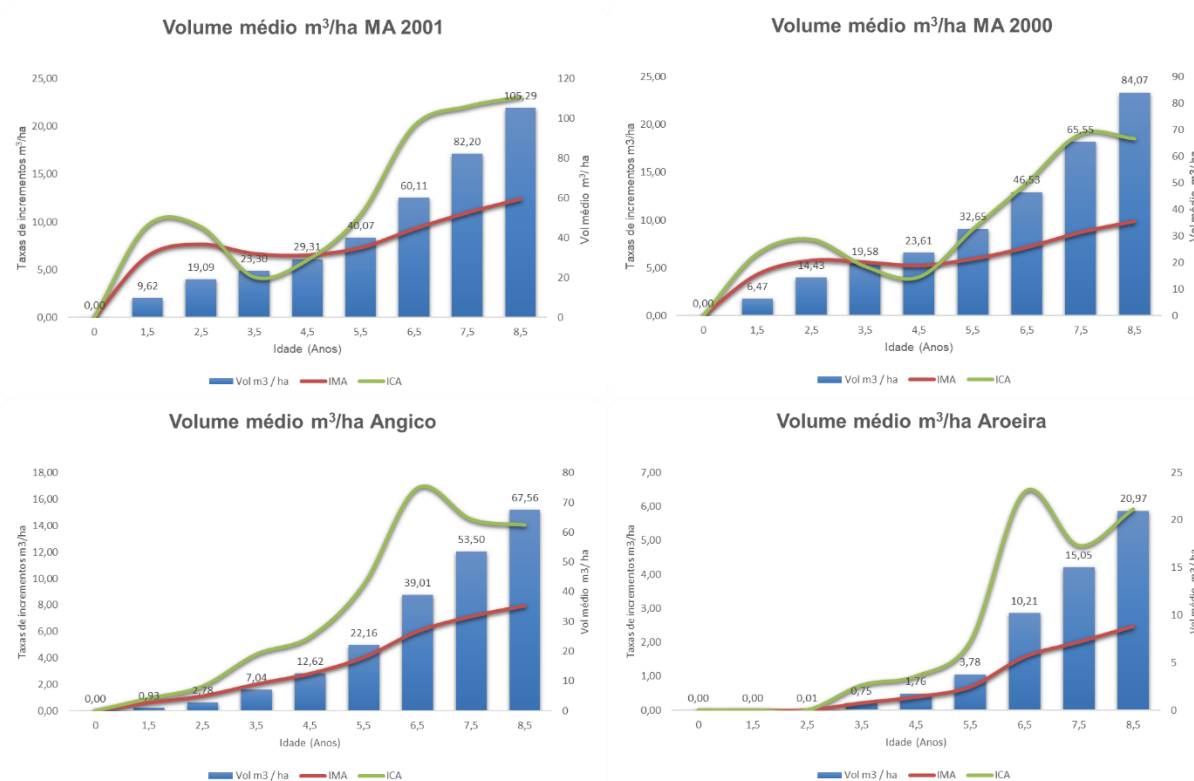
Analisando-se a produção volumétrica de ambos os clones consorciados com o feijão-caupi, percebe-se que a queda da produção nos anos iniciais, devido aos fatores climáticos, quando comparados aos monocultivos, foi menor. Conclui-se que a consorciação entre espécies beneficiou positivamente a manutenção produtiva no desenvolvimento das espécies arbóreas, como observado no consórcio com capim Tanzânia.

Santos *et al.* (2018), avaliando o efeito da interação no cultivo consorciado de clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*) com o feijão-caupi, concluíram que os eucaliptos apresentaram crescimento inicial das variáveis dendrométricas superiores quando comparados aos do monocultivo, não interferindo de forma negativa na produtividade do feijão consorciado. A interação positiva entre o feijão-caupi com os eucaliptos pode ser justificada pelo fato do feijoeiro controlar a competição existente de plantas daninhas com as árvores nos primeiros anos de plantio, agregando, dessa forma, maior sustentabilidade na produção da floresta (CARVALHO, 2009).

A produção volumétrica para as espécies nativas consorciadas com o feijão-caupi se mostraram favoráveis, com volumes para o Angico variando de 0,93 m<sup>3</sup>/ha a 67,56 m<sup>3</sup>/ha, com IMA entre 0,62 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 7,95 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. A Aroeira obteve, ao longo do tempo, produção volumétrica com valores entre 0,01 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, nos primeiros anos de plantio, quando a maioria das árvores não tinha atingido seu porte mínimo de medição, a 20,97 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com IMA chegando a 2,47 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> aos oito anos e meio de idade.

A queda acentuada verificada nas duas culturas florestais nativas, a partir dos seis anos e meio, foi devido à incidência significativa de plantas invasoras nas áreas

da Aroeira, competindo negativamente com as culturas florestais, visto que, nesta idade do plantio, não existia mais a plantação do feijão nas áreas cultivadas. Já no Angico, a queda da produção no período específico foi devido ao crescimento e adensamento das copas das árvores, que aumentaram significativamente na competição intraespecífica entre as plantas (Figura 15).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 15:** Curvas ICA e IMA de espécies arbóreas em cultivo em SAF com feijão-caupi, no espaçamento 4 m x 2 m, ao longo do tempo.

### 5.3 - Avaliação do crescimento das espécies arbóreas ao longo do tempo em relação ao volume médio por hectare ( $m^3/ha$ )

#### 5.3.1 - Teste de Mauchly

O resultado do teste de Mauchly para a variável volume, aos 102 meses de idade, foi significativo em relação à variável tempo ( $p < 0,005$ ) (bilateral), a 1% de significância, rejeitando-se, dessa maneira, a hipótese de nulidade em relação às variâncias iguais e correlações nulas, ou seja, variâncias constantes e com variáveis independentes não correlacionadas, indicando, desta maneira, o uso correto da análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo (SILVA *et al.*, 2013).

**Tabela 10:** Resultado do teste de Mauchly em relação aos volumes médios das espécies arbóreas ao longo do tempo

<i>Efeito entre tratamentos</i>	W de Mauchly	Aprox. Qui-quadrado	gl	Valor de P
<i>Tempo</i>	1,8943*E <sup>-30</sup>	485833,519	119	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.3.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses

Nas Tabela 11 e Tabela 12, estão representados os resultados referentes aos testes multivariados em função do efeito do tempo e suas interações em relação à variável volume médio por hectare nas espécies arbóreas do experimento.

### 5.3.3 - Efeito do fator tempo

Foi rejeitada a hipótese nula  $H_{02}$  ao nível de significância de 1% em função do tempo em todos os testes multivariados efetivados, indicando, dessa forma, que o tempo apresentou influência significativa no acréscimo do volume médio por hectare nas árvores (Tabela 11).

**Tabela 11:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo em relação aos volumes médios das espécies arbóreas

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Valor de P</i>
<i>Tempo</i>	Rastreio de Pillai	0,689	1048,191	**
	Lambda de Wilks	0,311	1048,191	**
	Rastreio de Hotelling	2,218	1048,191	**
	Maior raiz de Roy	2,218	1048,191	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.3.4 - Efeito do fator tempo x tratamentos

Ao avaliar a hipóteses nula em função do tempo x tratamentos ao longo dos 102 meses, em relação ao volume médio por hectare das árvores, rejeitam-se todas as hipóteses nulas ( $H_{03}$ ) em função das interações (Tabela 12), apontando que, pelo menos, uma interação do tempo em função dos tratamentos interage de forma significativa.

**Tabela 12:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação aos volumes médios das espécies arbóreas

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Tempo x Espécies</i>	Rastreio de Pillai	0,770	163,170	**
	Lambda de Wilks	0,367	188,150	**
	Rastreio de Hotelling	1,378	217,107	**
	Maior raiz de Roy	1,096	518,217	**
<i>Tempo x Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,108	17,702	**
	Lambda de Wilks	0,893	18,118	**
	Rastreio de Hotelling	0,118	18,536	**
	Maior raiz de Roy	0,101	47,600	**
<i>Tempo x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,681	138,817	**
	Lambda de Wilks	0,443	147,393	**
	Rastreio de Hotelling	0,986	155,330	**
	Maior raiz de Roy	0,563	266,288	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,093	4,967	**
	Lambda de Wilks	0,910	4,997	**
	Rastreio de Hotelling	0,096	5,020	**
	Maior raiz de Roy	0,038	17,956	**
<i>Tempo x Espécies x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	1,070	63,846	**
	Lambda de Wilks	0,269	75,161	**
	Rastreio de Hotelling	1,678	88,081	**
	Maior raiz de Roy	0,994	470,181	**
<i>Tempo x Adubações x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,073	3,867	**
	Lambda de Wilks	0,929	3,877	**
	Rastreio de Hotelling	0,074	3,884	**
	Maior raiz de Roy	0,023	10,986	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações x Formas de Cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,188	3,346	**
	Lambda de Wilks	0,826	3,371	**
	Rastreio de Hotelling	0,194	3,392	**

**Tabela 12:** Continuação

Maior raiz de Roy	0,057	14,891	**
-------------------	-------	--------	----

Fonte: O autor (2023)

### 5.3.5 - Efeito dos tratamentos

Na Tabela 13, estão os resultados dos testes multivariados em função do efeito tratamento e suas interações conforme a variável do volume médio por hectare nas espécies arbóreas, tendo todos os efeitos e suas interações significativos ao nível de significância de 1% em todos os testes multivariados, rejeitando-se, desta forma, a hipótese nula ( $H_{01}$ ), sinalizando que os tratamentos espécies, adubações, formas de cultivos e suas interações influenciam no aumento médio dos volumes por hectare, nas árvores do experimento.

**Tabela 13:** Resultado do teste multivariado para o fator tratamento e suas interações em relação aos volumes médios das espécies arbóreas

	<i>Efeito</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b><i>Espécies</i></b>	Rastreio de Pillai	0,770	163,170	**
	Lambda de Wilks	0,367	188,150	**
	Rastreio de Hotelling	1,378	217,107	**
	Maior raiz de Roy	1,096	518,217	**
<b><i>Adubações</i></b>	Rastreio de Pillai	0,108	17,702	**
	Lambda de Wilks	0,893	18,118	**
	Rastreio de Hotelling	0,118	18,536	**
	Maior raiz de Roy	0,101	47,600	**
<b><i>Formas de cultivo</i></b>	Rastreio de Pillai	0,681	138,817	**
	Lambda de Wilks	0,443	147,393	**
	Rastreio de Hotelling	0,986	155,330	**
	Maior raiz de Roy	0,563	266,288	**
<b><i>Espécies x Adubações</i></b>	Rastreio de Pillai	0,093	4,967	**
	Lambda de Wilks	0,910	4,997	**
	Rastreio de Hotelling	0,096	5,020	**
	Maior raiz de Roy	0,038	17,956	**



**Tabela 13:** Continuação

<b>Espécies x Formas de cultivo</b>	Rastreio de Pillai	1,070	63,846	**
	Lambda de Wilks	0,269	75,161	**
	Rastreio de Hotelling	1,678	88,081	**
	Maior raiz de Roy	0,994	470,181	**
<b>Adubações x Formas de cultivo</b>	Rastreio de Pillai	0,073	3,867	**
	Lambda de Wilks	0,929	3,877	**
	Rastreio de Hotelling	0,074	3,884	**
	Maior raiz de Roy	0,023	10,986	**
<b>Espécies x adubações x Formas de cultivo</b>	Rastreio de Pillai	0,188	3,346	**
	Lambda de Wilks	0,826	3,371	**
	Rastreio de Hotelling	0,194	3,392	**
	Maior raiz de Roy	0,057	14,891	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.3.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para avaliar os efeitos dos tratamentos em função do tempo

Observando os resultados da Tabela 14, pode-se confirmar a significância dos efeitos do tempo em função dos seus respectivos tratamentos e suas interações em relação à variável referente ao volume médio das árvores por hectare, reforçando os resultados já obtidos dos respectivos testes multivariados, mostrando, desta maneira, que o fator tempo influencia diretamente no aumento do volume médio das árvores por hectare, sendo necessário avaliar os efeitos existentes entre os tratamentos por meio da análise univariada ao longo do tempo.

**Tabela 14:** Resultado da MANOVA (efeitos dentre os tratamentos) em relação aos volumes em função do tempo, das espécies arbóreas, das adubações e da forma de cultivo em cada espaçamento

<i>Fonte de variação</i>	<b>GL</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<i>Tempo</i>	15	63301339,51	4220089,30	8038,96	**
<i>Tempo x Espécies</i>	45	15213180,61	338070,68	644,00	**
<i>Tempo x Adubações</i>	45	112782,01	2506,26	4,77	**
<i>Tempo x Formas de cultivo</i>	45	5115936,03	113687,46	216,56	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações</i>	135	337536,28	2500,26	4,76	**
<i>Tempo x Espécies x Formas de cultivo</i>	135	6215900,11	46043,70	87,71	**

**Tabela 14:** Continuação

<i>Tempo x Adubações x Formas de cultivo</i>	135	241268,25	1787,17	3,40	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações x Formas de cultivo</i>	405	583899,33	1441,72	2,74	**
<b>Resíduo</b>	106560	55939161,45	524,95		

Fonte: O autor (2023)

### 5.3.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos

Examinando os resultados da Tabela 15, confirma-se que os tratamentos (Espécie, Adubações, Formas de cultivos e suas interações) foram estatisticamente significantes em todas as suas fontes de variação, sendo, neste caso, necessária a verificação individual das médias dos respectivos tratamentos, em cada tempo de mensuração dos volumes médio por hectare das espécies arbóreas, por meio do teste post-hoc de Tukey ao nível de 1% de significância.

**Tabela 15:** Resultado da ANOVA (efeitos entre os tratamentos) em relação aos volumes médios ao longo dos anos, das espécies arbóreas, das adubações e da forma de cultivo em cada espaçamento e suas interações

<i>Fonte de variação</i>	<b>GL</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<i>Espécies</i>	3	99443159,66	99443159,66	12423,68	**
<i>Adubações</i>	3	30923684,18	10307894,72	1287,79	**
<i>Formas de cultivo</i>	3	123517,26	41172,42	5,14	**
<i>Espécies x Adubações</i>	9	10419634,45	3473211,48	433,91	**
<i>Espécies x Formas de cultivo</i>	9	408810,47	45423,38	5,67	**
<i>Adubações x Formas de cultivo</i>	9	11822682,14	1313631,35	164,11	**
<i>Espécies x Adubações x Formas de cultivo</i>	27	103349,43	11483,27	1,43	,167 <sup>ns</sup>
<i>Resíduo</i>	7104	446868,39	16550,68	2,06	**

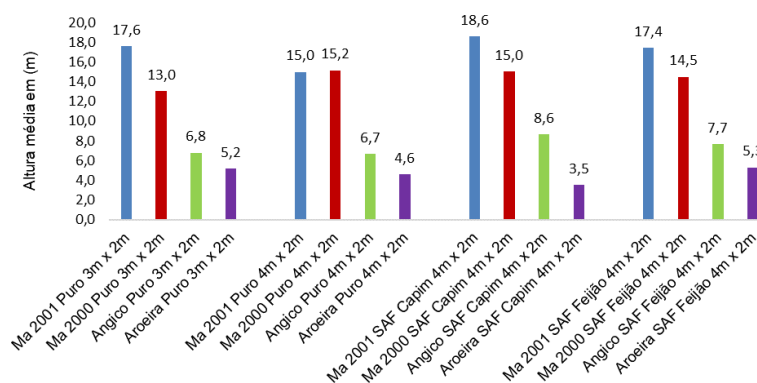
Fonte: O autor (2023)

Como as interações de segunda e terceira ordem têm pouco significado prático, foi adotada somente a verificação das fontes de variação de forma isolada e individual, Vieira *et al.* (2007).

### 5.3.8 - Teste Tukey em relação ao volume médio por hectare das espécies florestais ao longo do tempo

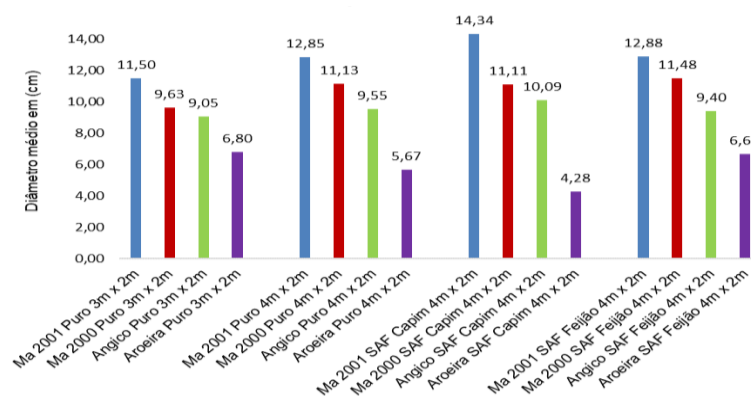
De acordo com o teste Tukey (Apêndice 1), o clone de eucalipto MA 2001, em todos os períodos das medições, diferenciou-se significativamente das demais espécies florestais, obtendo os maiores valores referentes ao volume médio por

hectare, variando de  $7,50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 15 meses (T6) a  $123,61 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 102 meses (T21), com  $\text{IMA}_{(T21)}$  aproximado de  $14,54 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . O clone MA 2000 se manteve com o segundo melhor desempenho volumétrico significativo, com volume variando de  $4,00 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (T6) a  $95,66 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 102 meses (T21). Esses resultados corroboram com os valores superiores obtidos pelos clones, em função das alturas e diâmetros médios (Figura 16 e Figura 17).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 16:** Altura média (m) das espécies arbóreas nos diferentes tipos de cultivos e espaçamentos, considerando todo o experimento, aos oito anos e meio (102 meses).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 17:** Diâmetro médio (cm) das espécies arbóreas nos diferentes tipos de cultivos e espaçamentos, considerando todo o experimento, aos oito anos e meio (102 meses).

Ferreira *et al.* (2017) avaliaram a produção e crescimento de sete materiais genéticos de *Eucalyptus*, sendo quatro espécies de eucaliptos, um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* via sementes, e dois clones de (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), implementados em uma antiga área de pastagem, na

região Sudeste do Brasil, no estado do Rio de Janeiro. Em média, os clones de eucalipto apresentaram os maiores volumes aos 80 meses, com  $240,54 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , valor esse superior quando comparado aos valores encontrados neste experimento. Tal fato pode ser explicado devido ao ambiente no qual foram cultivados os eucaliptos, visto que, dependendo das características climáticas de cada local, o crescimento dos clones tende a sofrer suas influências em seu desenvolvimento.

Drumond *et al.* (2021), pesquisando o desempenho silvicultural de um clone de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*) cultivado na região do Araripe, sertão de Pernambuco, obteve, aos 36 meses de idade, volume médio de  $36,88 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , valor esse acima do encontrado nesta pesquisa, com mesma idade, para os clones MA 2001 com  $23,34 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  e clone MA 2000 com  $18,69 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Tonini *et al.* (2006), testando diferentes espécies florestais nativas e exóticas, para usos diversos em sistemas agroflorestais, concluíram que os clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) se sobressaíram das demais espécies florestais pesquisadas, com IMA de  $48,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 7 anos de idade, destacando-se para uso energético na região do estado de Roraima, onde os índices pluviométricos superam os 1453 mm, nos meses mais chuvosos da região.

Gadelha *et al.* (2015), analisando o uso de clones de *Eucalyptus*, destinados para fins energéticos na região semiárida do Polo Gesseiro do Araripe - PE, aos 42 meses de idade, obtiveram volumes variando de  $26,44 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a  $57,69 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , valores esses superiores aos encontrados nesta pesquisa para os clones na mesma idade (T11), com  $24,46 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para o MA 2001 e  $19,44 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para o MA 2000, indicando que, mesmo em regiões similares, o comportamento das espécies florestais tende a variar conforme as características ambientais locais e a disponibilidade de recursos.

Já em relação às espécies nativas, o Angico apresentou o terceiro melhor desempenho volumétrico, com volumes médios por hectare variando de  $0,57 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (T6) a  $73,70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (T21). Valores altos para uma espécie nativa da Caatinga que, normalmente, em seu ambiente natural, sem nenhuma prática silvicultural ou de manejo, consegue atingir valores médios de  $0,8994 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para classe de altura, variando de 3,15 m a 5,82 m (FERRAZ *et al.*, 2013). Em área experimental controlada, na região da Chapada do Araripe em Pernambuco, Barros *et al.* (2010) encontraram, para o Angico, produtividade média, aos seis anos e meio de idade, de  $36,63 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  com IMA de  $5,64 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , valores esses abaixo do encontrados nesta pesquisa para mesma idade ( $44,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  com IMA de  $6,83 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). O alto desempenho dessa

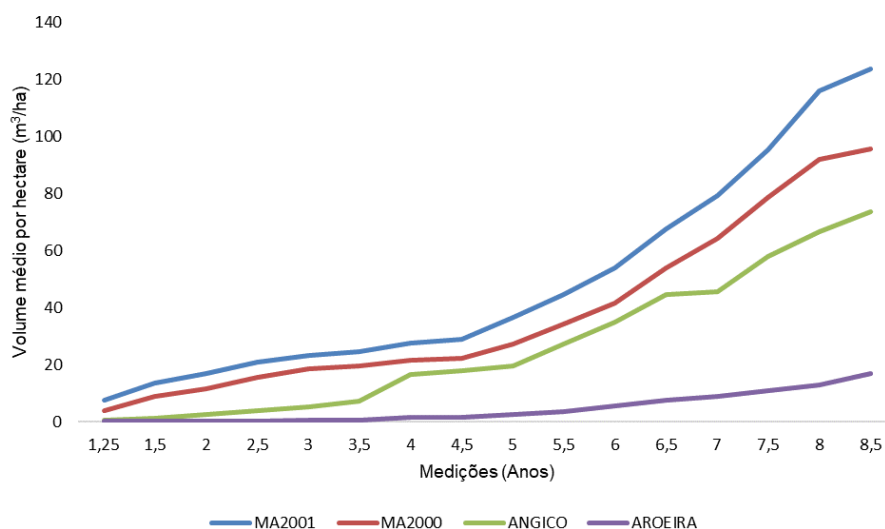
cultura florestal na área experimental da pesquisa se deve, principalmente, à ocorrência da disponibilidade hídrica local, como também ao favorecido pelo enriquecimento do solo pela adubação orgânica aplicada nas áreas de cultivos.

Com a Aroeira, o desempenho volumétrico observado ao longo do tempo teve seu pior rendimento quando comparado ao das demais espécies florestais. Com volumes médios por hectare variando de  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  na medição T6, aos 15 meses de idades, com IMA de  $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a  $16,82 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  na medição T21, com IMA de  $1,98 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , refletindo nas condições já observadas nos valores reduzidos referentes às alturas e diâmetros médios dessa espécie. Como a Aroeira apresentou, ao longo do tempo, crescimento lento, desuniforme e tortuoso, contribuiu, dessa forma, para seu baixo rendimento volumétrico.

Outro fator que pode ter influenciado no fraco desempenho do seu volume se deve ao fato da forte competição interespecífica existente entre as culturas agrícolas nas áreas de SAF nos primeiros anos de cultivo, dificultando, assim, o seu ganho de crescimento tanto em altura quanto em diâmetro.

Oliveira *et al.* (2014), caracterizando um povoamento natural sob monodominância de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), em uma região de Cerrado em Minas Gerais - Brasil, obtiveram valores volumétricos de  $81,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para classe diamétrica de indivíduos entre 10 cm e 15 cm de diâmetro médio, valores superiores aos encontrados nesta pesquisa. No entanto, deve-se levar em consideração que o diâmetro médio obtido neste experimento para a Aroeira, aos 102 meses, foi de 5,86 cm. Já Cambuim (2013), estudando a interação de um sistema silvipastoril com a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) aos 25 anos de plantio, obtiveram valores volumétricos de  $29,93 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

O desempenho do volume médio das espécies arbóreas ao longo do tempo está visualizado na Figura 18.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 18:** Curvas de crescimento em volumes médios das espécies arbóreas ao longo do tempo.

Em relação aos resultados do teste Tukey, ao nível de 1% de significância, em função das diferentes formas de adubação, na influência do volume médio das árvores (Apêndice 2), pode-se perceber uma predominância significativa das adubações orgânicas, sedimento do lago e do resíduo de tanques de piscicultura, no aumento do volume médio das árvores por hectare ao longo dos 96 meses de idade. Em todas as avaliações obtidas, as duas formas de adubação não diferiram estatisticamente entre si, tendo uma predominância maior do sedimento do lago, desde a medição T10 (36 meses) até a medição T20 (96 meses).

O adubo orgânico de sedimento de tanques de piscicultura teve variação de  $4,17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 15 meses de idade (T6) a  $77,53 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  aos 102 meses de idade (T21). Já o adubo orgânico proveniente do sedimento do lago de Itaparica obteve volume médio por hectare variando de  $3,28 \text{ m}^3/\text{ha}$  na medição T6 a  $77,76 \text{ m}^3/\text{ha}$  na medição T21.

O uso do resíduo do biocarvão apresentou comportamento semelhante à testemunha em todas as medições, com exceção da medida T6, porém com valores bem próximos entre si. Nas seguintes medições (T10), (T11), (T12), (T13), (T14), (T15), (T16), (T20) e (T21), o biocarvão não deferiu significativamente dos adubos orgânicos.

Percebe-se que, em todos os tratamentos, mediante ao uso dos diferentes meios de adubação, a variação do volume existentes entre eles ficou com valores bem

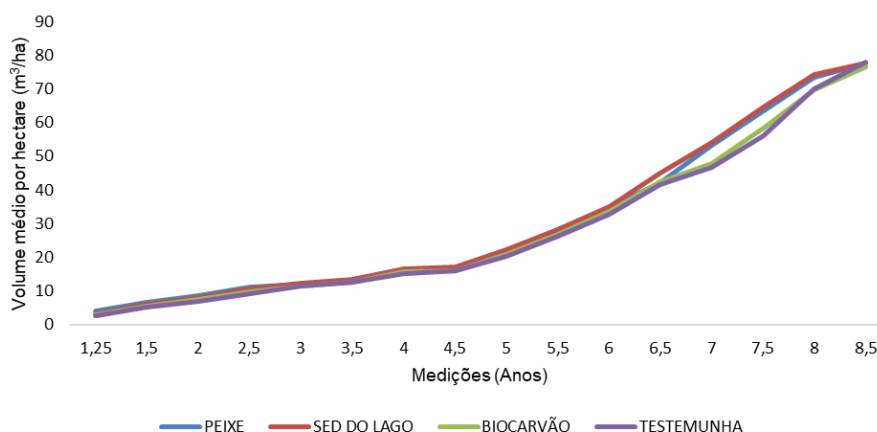
próximos entre si, em todas as medições, principalmente nas T10, T13, T15, T16, T20 e T21.

Tal fato pode ser explicado visto que grande parte da influência nutricional desses adubos orgânicos ocorre, principalmente, na fase do crescimento inicial das árvores, nos seus primeiros anos de plantio, e, posteriormente, essa influência direta dos adubos deixou de existir, tendo outros fatores mais relevantes na influência do aumento do volume, como diferença entre espécies, formas de cultivo e espaçamentos.

Segundo Schreiber *et al.* (2018), os altos teores de nutrientes como o K<sup>+</sup>, P e N, presentes na maioria destes sedimentos orgânicos, exercem influência direta no desenvolvimento das plantas, principalmente nos primeiros meses de plantio. No entanto, esses mesmos autores reforçam que, devido à alta mobilidade desses nutrientes no solo, principalmente o nitrogênio, os mesmos tendem a ser perdidos ao longo do tempo por meio da lixiviação ou, em alguns casos, por volatilização, necessitando de reposições durante o crescimento das árvores ao longo do tempo.

Como o experimento só teve uma única adubação em cobertura, aos 12 meses de idade, a influência desses nutrientes, que favoreceram de forma direta o desenvolvimento inicial das árvores, estabilizou-se no ambiente e o desenvolvimento volumétrico permaneceu significativamente constante ao longo do tempo, com uma leve vantagem para o adubo proveniente do sedimento do lago.

No entanto, é perceptível que o uso inicial das diferentes formas de adubação no povoamento florestal influenciou positivamente no desenvolvimento das árvores, visto que no tratamento testemunha, sem nenhum tipo de adubo, os valores médios de volume foram os menores possíveis, quando comparados aos demais tratamentos, com exceção da última medição (T21). A Figura 19 expressa o comportamento do volume médio por hectare ao longo do tempo, mediante o uso das adubações orgânicas e da testemunha.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 19:** Curvas de crescimento em volumes médios das espécies arbóreas em função das adubações ao longo do tempo.

Observando os resultados obtidos pelo teste Tukey, ao nível de 1% de significância (Apêndice 3), em relação ao aumento da produção do volume médio por hectare, influenciados pelas diferentes formas de cultivo florestais e seus respectivos espaçamentos, pode-se constatar que no monocultivo 3 m x 2 m ( $6 \text{ m}^2/\text{árv}$ ), nas primeiras medições obtidas, T6 aos 15 meses a T11 aos 42 meses, os valores médios da produção volumétrica se diferenciou significativamente dos demais, com valores variando de  $7,56 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  a  $18,25 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . Tal fato pode ser explicado considerando que, em povoamentos jovens, com espaçamentos mais adensados, as árvores tendem a se desenvolver de forma mais proeminente. Foi o que percebeu Caterina (2017), ao constatar que, nos espaçamentos mais adensados, nos primeiros anos de plantio, a velocidade máxima de crescimento volumétrico é atingida mais cedo em comparação aos espaçamentos mais amplos, tendo como causa principal o estresse entre árvores devido à competição por espaço entre elas, diminuindo, assim, seu incremento volumétrico ao longo do tempo. Outro ponto que corrobora com estes resultados iniciais é que, nos povoamentos mais adensados, o número de árvores ocorrentes no espaçamento 3 m x 2 m ( $1667 \text{ árvores}.\text{ha}^{-1}$ ) proporciona maiores volumes médios por unidade de área, resultante de um maior número de indivíduos em relação aos espaçamentos menos densos.

Resultados semelhantes foram encontrados também por Medeiros *et al.* (2018), que, estudando o efeito dos espaçamentos, observaram um maior ganho volumétricos nos espaçamentos mais adensados, nos primeiros anos de cultivo, porém, os autores ressaltam que os espaçamentos mais densos, devido à competição por nutrientes,



luz e água, podem comprometer negativamente na produção de folhas, ramos e brotos, podendo ocorrer danos fisiológicos às árvores.

Nos primeiros meses de plantio, nos cultivos em SAF, no espaçamento mais amplo (4 m x 2 m), em um nível de produção agrícola mais intenso, os consórcios com o capim Tanzânia se mostraram como a segunda melhor produtividade por área, com volumes médios variando de 2,18 m<sup>3</sup>/ha (T6) a 16,34 m<sup>3</sup>/ha (T11). Já os cultivos em SAF com o feijão-caupi, nas primeiras medições, apresentaram a terceira melhor produtividade volumétrica na área experimental, com exceção das medições T7 e T8, que não deferiram estatisticamente do cultivo em SAF com o capim Tanzânia.

A partir da medição T12 (48 meses), ocorreu um aumento significativo da produção volumétrica das árvores nos consórcios em SAF com o capim Tanzânia, comportamento esse que se prolongou até os 102 meses de idade (T21), com produção volumétrica variando de 22,58 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 97,46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Tal desempenho pode ser explicado devido à associação positiva interespecífica existente, nesse caso em particular, entre as árvores e o capim Tanzânia, proporcionando, dessa forma, uma maior concentração e disponibilidade de água para as árvores, por meio da manutenção da umidade do solo, pela ampla cobertura vegetal da superfície e também pela reposição constante de nutrientes proporcionado pela decomposição dos resíduos provenientes da cultura forrageira.

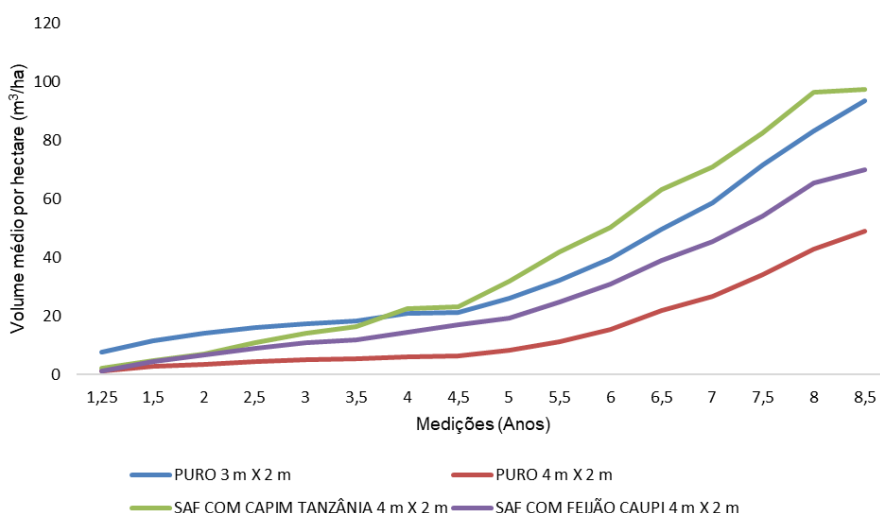
Resultado semelhante pode ser observado por Gandini (2018), que, avaliando a interação entre híbrido de Eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) consorciado em áreas com o capim Marandu (*B. brizantha*) em dois tipos de espaçamento (12 m x 2 m e 12 m x 3 m), concluiu que a interação existente para ambas as espécies foi benéfica nos dois espaçamentos, não comprometendo a produção volumétrica das árvores consorciadas.

Braga *et al.* (2022) obtiveram resultados similares, quando compararam diferentes formas de cultivo e interações no aumento volumétrico de árvores de eucalipto consorciadas em sistemas de agrossilvipastoril. As árvores conduzidas em sistemas de SAF, em espaçamentos menos adensados, proporcionaram maiores volumes por árvore quando comparadas aos monocultivos, com espaçamentos reduzidos, possibilitando um maior sortimento de utilização futura da madeira para os diversos fins comerciais, visto que, nos povoamentos mais adensados, as árvores tendem a ser mais finas.

O monocultivo (3 m x 2 m), a partir da medição T12 até a medição T21, ocupou a segunda maior produtividade volumétrica significativa do experimento, com produção variando entre 20,75 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 93,62 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, não diferenciando, na última medição, com o cultivo consorciado com o capim Tanzânia. Já o cultivo em SAF com o feijão-caupi obteve a terceira maior produtividade de volume médio por hectare, com valores variando entre 14,48 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 69,91 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Foi observado, em todas as medições ao longo do tempo, que o monocultivo (4 m x 2 m) proporcionou a menor produtividade média dos volumes, devido a sua elevada taxa de mortalidade.

O comportamento do aumento volumétrico do volume ao longo do tempo, por meio das diferentes formas de cultivo florestal, está representado na Figura 20.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 20:** Curvas de crescimento em volumes médios das espécies arbóreas em função das formas de cultivo ao longo do tempo.

#### 5.6 - Avaliação do crescimento das espécies arbóreas ao longo do tempo em relação ao volume médio por hectare (m<sup>3</sup>/ha), desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

A fim de verificar estatisticamente se a alta taxa de mortalidade, ocorrida no monocultivo 4 m x 2 m, comprometeu o crescimento volumétrico geral das espécies arbóreas, foi realizada a análise estatística multivariada, desconsiderando essa forma de cultivo na avaliação final do crescimento das árvores.

### 5.6.1 - Teste de Mauchly

O teste de Mauchly, aos 102 meses de idade, foi significativo em relação à variável tempo, rejeitando-se a hipóteses de nulidade (Tabela 16).

**Tabela 16:** Resultado do teste de Mauchly em relação aos volumes médios das espécies arbóreas ao longo do tempo, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

<i>Efeito entre tratamentos</i>	W de Mauchly	Aprox. Qui-quadrado	gl	Sig.
<i>Tempo</i>	1,2705*E <sup>-30</sup>	366412,298	119	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.6.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses

Nas Tabela 17 e Tabela 18, são descritos os resultados relativos aos testes multivariados em função do efeito do tempo e suas interações em relação à variável volume médio por hectare nas espécies arbóreas, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m.

### 5.6.3 - Efeito do fator tempo

Foi rejeitada a hipótese nula  $H_{02}$  ao nível de significância de 1% em função do tempo, em todos os testes multivariados efetivados, indicando que o tempo apresentou influência significativa no acréscimo do volume médio por hectare nas árvores (Tabela 17).

**Tabela 17:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo em relação aos volumes médios das espécies arbóreas, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Tempo</i>	Rastreio de Pillai	0,711	871,239	**
	Lambda de Wilks	0,289	871,239	**
	Rastreio de Hotelling	2,459	871,239	**
	Maior raiz de Roy	2,459	871,239	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.6.4 - Efeito da interação tempo x tratamentos

Ao avaliar a hipóteses nula em função do tempo x tratamentos ao longo dos 102 meses, em relação ao volume médio por hectare das árvores, rejeita-se as hipóteses de nulidade ( $H_{03}$ ), em função das interações (Tabela 18), apontando-se que,

peelo menos, uma interação do tempo em função dos tratamentos interage de forma dependente.

**Tabela 18:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação aos volumes médios das espécies arbóreas, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Tempo x Espécies</i>	Rastreio de Pillai	0,837	137,148	**
	Lambda de Wilks	0,320	163,821	**
	Rastreio de Hotelling	1,660	195,964	**
	Maior raiz de Roy	1,358	481,117	**
<i>Tempo x Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,130	16,108	**
	Lambda de Wilks	0,872	16,529	**
	Rastreio de Hotelling	0,144	16,953	**
	Maior raiz de Roy	0,119	42,289	**
<i>Tempo x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,533	128,841	**
	Lambda de Wilks	0,526	134,140	**
	Rastreio de Hotelling	0,788	139,495	**
	Maior raiz de Roy	0,599	212,265	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,109	4,356	**
	Lambda de Wilks	0,895	4,393	**
	Rastreio de Hotelling	0,112	4,424	**
	Maior raiz de Roy	0,049	17,473	**
<i>Tempo x Espécies x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,901	62,686	**
	Lambda de Wilks	0,326	73,257	**
	Rastreio de Hotelling	1,455	85,892	**
	Maior raiz de Roy	0,989	350,768	**
<i>Tempo x Adubações x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,051	3,044	**
	Lambda de Wilks	0,950	3,053	**
	Rastreio de Hotelling	0,052	3,062	**
	Maior raiz de Roy	0,024	8,656	**

**Tabela 18:** Continuação

<i>Tempo x Espécies x Adubações x Formas de Cultivo</i>				
	Rastreio de Pillai	0,147	2,926	**
	Lambda de Wilks	0,862	2,952	**
	Rastreio de Hotelling	0,151	2,973	**
	Maior raiz de Roy	0,052	15,515	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.6.5 - Efeito do fator tratamento

Na tabela 19, estão os resultados dos testes multivariados em função do efeito tratamento e suas interações conforme a variável do volume médio por hectare nas espécies arbóreas, tendo todos os efeitos e suas interações significativos ao nível de 1%, rejeitando-se a hipótese de nulidade ( $H_{01}$ ).

**Tabela 19:** Resultado do teste multivariado para o fator tratamento e suas interações em relação aos volumes médios das espécies arbóreas, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

	<b>Efeito</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<i>Espécies</i>	Rastreio de Pillai	0,770	163,170	**
	Lambda de Wilks	0,367	188,150	**
	Rastreio de Hotelling	1,378	217,107	**
	Maior raiz de Roy	1,096	518,217	**
<i>Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,108	17,702	**
	Lambda de Wilks	0,893	18,118	**
	Rastreio de Hotelling	0,118	18,536	**
	Maior raiz de Roy	0,101	47,600	**
<i>Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,681	138,817	**
	Lambda de Wilks	0,443	147,393	**
	Rastreio de Hotelling	0,986	155,330	**
	Maior raiz de Roy	0,563	266,288	**
<i>Espécies x Adubações</i>	Rastreio de Pillai	0,093	4,967	**
	Lambda de Wilks	0,910	4,997	**
	Rastreio de Hotelling	0,096	5,020	**

**Tabela 19:** Continuação

	Maior raiz de Roy	0,038	17,956	**
<i>Espécies x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	1,070	63,846	**
	Lambda de Wilks	0,269	75,161	**
	Rastreio de Hotelling	1,678	88,081	**
	Maior raiz de Roy	0,994	470,181	**
<i>Adubações x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,073	3,867	**
	Lambda de Wilks	0,929	3,877	**
	Rastreio de Hotelling	0,074	3,884	**
	Maior raiz de Roy	0,023	10,986	**
<i>Espécies x adubações x Formas de cultivo</i>	Rastreio de Pillai	0,188	3,346	**
	Lambda de Wilks	0,826	3,371	**
	Rastreio de Hotelling	0,194	3,392	**
	Maior raiz de Roy	0,057	14,891	**

Fonte: O autor (2023)

#### 5.6.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para os efeitos entre os tratamentos, em função do tempo

Analisando-se os resultados da Tabela 20, verifica-se que há significância do efeito tempo em função dos seus respectivos tratamentos e suas interações em relação à variável referente ao volume médio das árvores por hectare, fazendo-se necessário avaliar os efeitos existentes entre os tratamentos por meio da análise univariada ao longo do tempo.

**Tabela 20:** Resultado da MANOVA (efeito dentre os tratamentos) em relação aos volumes médios em função do tempo, das espécies arbóreas, das adubações e da forma de cultivo em cada espaçamento, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

<i>Fonte de variação</i>	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
<i>Tempo</i>	15	60245982,236	4016398,816	6265,164	**
<i>Tempo x Espécies</i>	45	16702236,533	371160,812	578,972	**
<i>Tempo x Adubações</i>	45	122277,225	2717,272	4,239	**
<i>Tempo x Formas de cultivo</i>	30	1945006,761	64833,559	101,134	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações</i>	135	335522,818	2485,354	3,877	**
<i>Tempo x Espécies x Formas de cultivo</i>	90	2149790,655	23886,563	37,261	**
<i>Tempo x Adubações x Formas de cultivo</i>	90	137704,664	1530,052	2,387	**
<i>Tempo x Espécies x Adubações x Formas de cultivo</i>	270	381783,123	1414,012	2,206	**

**Tabela 20:** Continuação

<i>Resíduo (Tempo)</i>	79920	51234184,779	641,068		
------------------------	-------	--------------	---------	--	--

Fonte: O autor (2023)

### 5.6.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar o efeito entre os tratamentos

Tendo-se os resultados da Tabela 21, confirma-se que os tratamentos (Espécies, Adubações, Formas de cultivo e suas interações) foram estatisticamente significativos em todas as suas fontes de variação, fazendo-se necessária a verificação individual das médias dos respectivos tratamentos em cada tempo de mensuração dos volumes médios por hectare das espécies arbóreas, por meio do teste post-hoc de Tukey ao nível de 1% de significância.

**Tabela 21:** Resultado da ANOVA (efeito entre os tratamentos) em relação aos volumes médios ao longo dos anos, das espécies arbóreas, das adubações e da forma de cultivo em cada espaçamento e suas interações, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

<i>Fonte de variação</i>	<b>GL</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<i>Espécies</i>	3	35048363,819	11682787,940	1170,449	**
<i>Adubações</i>	3	150124,115	50041,372	5,013	**
<i>Formas de cultivo</i>	2	2759956,189	1379978,094	138,254	**
<i>Espécies x Adubações</i>	9	519372,062	57708,007	5,782	**
<i>Espécies x Formas de cultivo</i>	6	3891577,825	648596,304	64,980	**
<i>Adubações x Formas de cultivo</i>	6	63308,244	10551,374	1,057	**
<i>Espécies x Adubações x Formas de cultivo</i>	18	298062,476	16559,026	1,659	0,386 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	5328	53181209,855	9981,458		

Fonte: O autor (2023)

### 5.6.8 - Teste Tukey em relação ao volume médio por hectare das espécies florestais ao longo do tempo, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m

Comparando-se os resultados obtidos do teste Tukey (Apêndice 4), com e sem o monocultivo (4 m x 2 m), referentes ao ganho volumétrico das espécies arbóreas ao longo do tempo, pode-se observar um aumento considerado no volume médio, referente a todo o período de cultivo, em 26,21% para o clone de eucalipto MA 2001,

quando se desconsidera o monocultivo 4 m x 2 m. Esse aumento de valor ocorreu em função do alto índice de mortalidade desse respectivo clone, tendo somente 19% de sobrevivência dos indivíduos, levando a influenciar negativamente sua média geral do volume por hectare.

Já com o clone MA 2000, o ganho volumétrico foi inferior, com o valor de 3,69%, devido a sua taxa de mortalidade ser menor que a do clone MA 2001 no monocultivo (4 m x 2 m) e da aparente homogeneidade do crescimento das espécies em campo nas demais formas de cultivo.

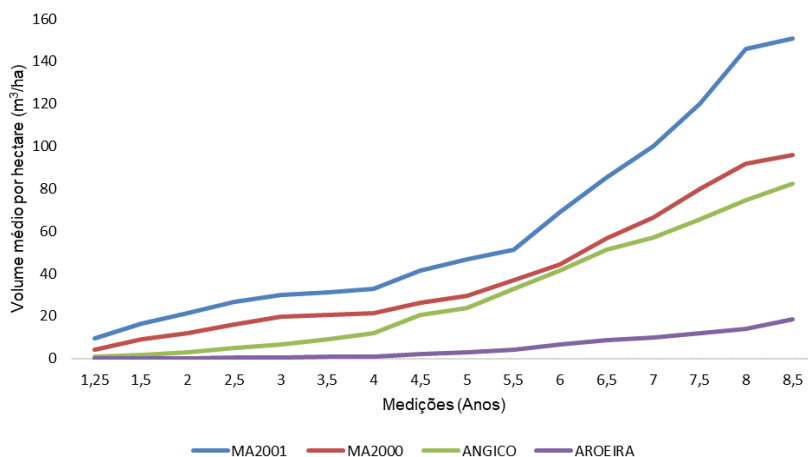
Com as culturas nativas, o aumento volumétrico foi de 13,79% para o Angico e de 12,69% para a Aroeira.

Estes valores obtidos não influenciaram na mudança de resultados no teste Tukey na indicação das melhores espécies referentes ao aumento volumétrico médio por hectare ao longo do tempo. O clone MA 2001, em todos os períodos de medição, mostrou-se significativamente superior às demais espécies, com valores volumétricos médios variando de  $9,35 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  a  $150,59 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , com IMA, aos 8 anos e meio, de  $17,71 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . O clone MA 2000 obteve o segundo melhor resultado volumétrico, tendo valores variando de  $4,37 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  a  $95,99 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , com respectivo IMA, aos oito anos e meio, de  $11,29 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ .

Dentre as espécies nativas, o Angico permaneceu, em todo o período, como a melhor alternativa em desempenho médio volumétrico por hectare, quando comparado com a Aroeira, obtendo valores variando de  $0,75 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  a  $82,40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . Para a Aroeira, o aumento volumétrico médio, em todo o período de medição, foi de  $5,17 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , tendo, na última medição (T21), valor médio de  $18,59 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

A distribuição gráfica das curvas de crescimento dos volumes médios por hectare das espécies arbóreas, ao longo do tempo, está exposta na Figura 21.





Fonte: O autor (2023)

**Figura 21:** Curvas de crescimento em volumes médios das espécies arbóreas ao longo do tempo, desconsiderando o monocultivo 4 m x 2 m.

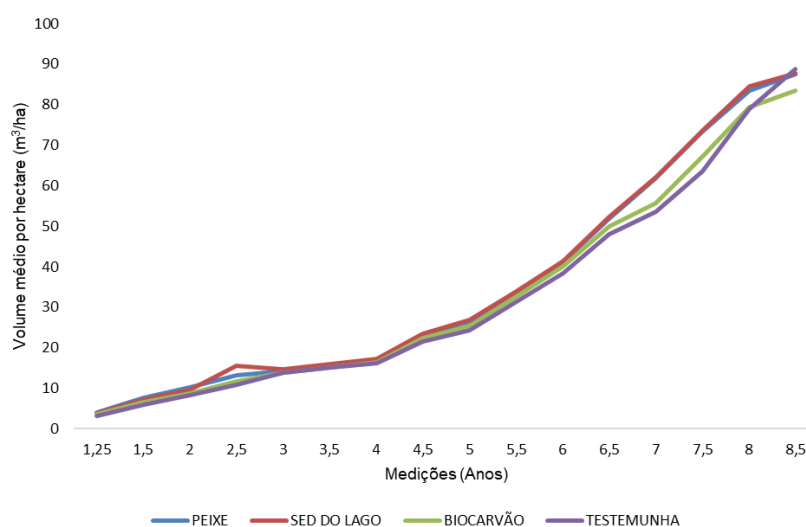
Quando se observam os resultados do teste Tukey (Apêndice 5), em função das diferentes formas de adubação orgânica no aumento volumétrico das árvores, desconsiderando-se o monocultivo 4 m x 2 m, percebe-se que não ocorreram mudanças significativas nos resultados na sua grande maioria. No entanto, observam-se leves oscilações nas medições (T9, T11, T12, T13, T14 e T17), mas que não alteram, de forma significativa, a interpretação dos resultados anteriores, considerando-se o monocultivo 4 m x 2 m.

O aumento em porcentagem dos resultados, com e sem os dados do monocultivo (4 m x 2 m), oscilou por igual nos quatro tratamentos, havendo o adubo proveniente da piscicultura apresentado ganho médio de 16,66%, correspondente à média total de 35,29 m³/ha. Já com o adubo proveniente do sedimento do lago, ocorreu um aumento de 15,99% em relação ao resultado com o monocultivo 4 m x 2 m, equivalente à média de 35,45 m³/ha. O aumento dos resultados referentes ao uso do biocarvão e da testemunha oscilaram entre 16,06% e 15,96%, respectivamente, com volume médio total de 33,24 m³/ha para o biocarvão e 32,67 m³/ha para a testemunha.

Os adubos orgânicos provenientes do sedimento do lago e dos tanques de piscicultura permaneceram como os mais influentes no aumento do volume das árvores, não se diferenciando entre si em grande parte das medições. No entanto, devido a não ocorrência de novas adubações no experimento, os adubos vão deixando de exercer sua influência no crescimento das árvores à medida que os

compostos orgânicos mineralizados são consumidos pela biota local ou perdidos, a depender das características físicas do solo (MALUF *et al.*, 2015).

A distribuição das curvas de crescimento volumétrico, em função das adubações (Figura 22), evidenciam as similaridades significativas dos adubos ao longo do tempo.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 22:** Curvas de crescimento em volumes médios das espécies arbóreas em função das adubações ao longo do tempo, desconsiderando-se o monocultivo 4 m x 2 m.

5.7 - Avaliação da produtividade da cultura agrícola feijão-caupi cultivado nos sistemas em SAF e no monocultivo

#### 5.7.1 - Teste de Mauchly

Na Tabela 22, está descrito o resultado do teste de Mauchly para a produtividade do feijão-caupi, sendo significativo seu efeito em relação à variável tempo, rejeitando-se, desta maneira, a hipóteses de nulidade.

**Tabela 22:** Resultado do teste de Mauchly em relação à produtividade média do feijão-caupi ao longo do tempo

<i>Efeito entre tratamentos</i>	<b>W de Mauchly</b>	<b>Aprox. Qui-quadrado</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
<b>Tempo</b>	0,000048	545,480	119	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.7.2 - Testes multivariados nas análises das hipóteses

Nas Tabela 23 e Tabela, 24 estão retratados os resultados referentes aos testes multivariados em função do efeito do tempo e suas interações em relação à produtividade do feijão-caupi.

### 5.7.3 - Efeito do fator tempo

De acordo com os resultados obtidos nos testes multivariados, em função do tempo (Tabela 23), foi rejeitada a hipótese nula  $H_{02}$  ao nível de significância de 1%, indicando que o tempo influencia significativamente no aumento da produtividade do feijão-caupi.

**Tabela 23:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo em relação à produtividade média do feijão-caupi ao longo do tempo

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b>Tempo</b>	Rastreio de Pillai	0,991	349,742	**
	Lambda de Wilks	0,009	349,742	**
	Rastreio de Hotelling	114,046	349,742	**
	Maior raiz de Roy	114,046	349,742	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.7.4 - Efeito da interação tempo x tratamento

Ao analisar a interação do tempo x tratamentos ao longo dos 67 meses, em relação à produtividade do feijão-caupi, rejeitam-se todas as hipóteses de nulidade ( $H_{03}$ ), em função das interações (Tabela 24), indicando que existe, pelo menos, uma interação do tempo em função dos tratamentos que atua de forma dependente.

**Tabela 24:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação à produtividade média do feijão-caupi

<b>Efeito</b>	<b>Estatística</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Tempo x Formas de cultivos</b>	Rastreio de Pillai	2,148	3,788	**
	Lambda de Wilks	0,017	5,624	**
	Rastreio de Hotelling	10,388	7,704	**
	Maior raiz de Roy	5,551	18,134	**
<b>Tempo x Adubações</b>	Rastreio de Pillai	1,330	2,549	**
	Lambda de Wilks	0,114	3,297	**
	Rastreio de Hotelling	4,188	4,157	**
	Maior raiz de Roy	3,167	10,134	**
<b>Tempo x Formas de cultivos *adubações</b>	Rastreio de Pillai	2,415	0,957	0,635 <sup>ns</sup>
	Lambda de Wilks	0,037	1,064	0,302 <sup>ns</sup>
	Rastreio de Hotelling	4,899	1,202	0,061 <sup>ns</sup>
	Maior raiz de Roy	2,121	8,061	**

Fonte: O autor (2023)

#### 5.7.5 - Efeito do fator tratamento

Na Tabela 25, estão os resultados dos testes multivariados em função do efeito tratamento e suas interações, conforme a variável referente à produtividade do feijão-caupi, tendo todos os efeitos e suas interações significativas, rejeitando-se a hipótese de nulidade ( $H_{01}$ ), sinalizando que os tratamentos, formas de cultivos, adubações e suas interações influenciam no aumento da produtividade do feijão-caupi no experimento.

**Tabela 25:** Resultado do teste multivariado para o fator tratamento e suas interações em relação à produtividade média do feijão-caupi

<b>Efeito</b>		<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Formas de Cultivos</b>	Rastreio de Pillai	2,326	4,167	**
	Lambda de Wilks	0,002	11,568	**
	Rastreio de Hotelling	60,082	40,837	**
	Maior raiz de Roy	54,271	162,813	**
<b>Adubações</b>	Rastreio de Pillai	1,477	2,850	**
	Lambda de Wilks	,044	5,199	**
	Rastreio de Hotelling	10,715	9,748	**
	Maior raiz de Roy	9,692	28,471	**
<b>Formas de Cultivos x Adubações</b>	Rastreio de Pillai	2,705	1,018	,429 <sup>ns</sup>
	Lambda de Wilks	0,016	1,278	,019 <sup>ns</sup>
	Rastreio de Hotelling	7,896	1,775	**
	Maior raiz de Roy	4,764	16,676	**

Fonte: O autor (2023)

#### 5.7.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) para os efeitos entre os tratamentos em função do tempo

Analisando-se os resultados da Tabela 26, pode-se afirmar a existência da significância para os efeitos do tempo em função dos seus respectivos tratamentos e suas interações, em relação à produtividade do feijão-caupi, reforçando os resultados já obtidos dos respectivos testes multivariados. Tais resultados corroboram que o fator tempo é uma medida divergente que influencia diretamente no aumento da produtividade do feijão-caupi por hectare, sendo necessário avaliar os efeitos existentes entre os tratamentos por meio da análise univariada ao longo do tempo.

**Tabela 26:** Resultado da MANOVA (efeito dentre os tratamentos) em relação à produtividade média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) do feijão-caupi em função do tempo, da forma de cultivo em cada espaçamento e das adubações

<i>Fonte de variação</i>	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
<i>Tempo</i>	15	110725321,321	7381688,088	280,802	**
<i>Tempo x Formas de Cultivo</i>	60	10629861,589	177164,360	6,739	**
<i>Tempo x Adubações</i>	45	2241827,912	49818,398	1,895	**
<i>Tempo x Formas de Cultivo x Adubações</i>	180	4073289,115	22629,384	,861	,894 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	900	23659082,146	26287,869		

Fonte: O autor (2023)

#### 5.7.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos

Averiguando os resultados da Tabela 27, confirma-se que os tratamentos (formas de cultivo, adubações e suas interações) foram estatisticamente significativos, sendo, neste caso, necessária a verificação individual das médias dos respectivos tratamentos, em cada tempo de medição, na qual foi obtido o valor da produção média por hectare do feijão-caupi, por meio do teste post-hoc de Tukey, ao nível de 1% de significância.

**Tabela 27:** Resultado da ANOVA (efeito entre os tratamentos) em relação à produtividade média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) do feijão-caupi em função da forma de cultivo em cada espaçamento e das adubações

<i>Fonte de variação</i>	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
<i>Formas de Cultivo</i>	4	38989652,23	390853714,91	5599,04	**
<i>Adubações</i>	3	10772099,84	9747413,05	139,63	**
<i>Formas de Cultivo x Adubações</i>	12	1900237,49	3590699,94	51,43	**
<i>Resíduo</i>	60	4188433,37	158353,12	2,26	

Fonte: O autor (2023)

#### 5.7.8 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do feijão-caupi ao longo do tempo

De acordo com os resultados do teste Tukey, ao nível de 1% de probabilidade (Apêndice 6), percebe-se que a produtividade do feijão-caupi, consorciado entre as linhas do cultivo dos clones dos eucaliptos, difere estatisticamente em relação ao monocultivo agrícola, em todo o período produtivo do feijão, com exceção das primeiras safras (T1) aos 11 meses e (T3) aos 19 meses de idade do plantio florestal.

Na associação com os eucaliptos, a produção do feijão teve seu maior declínio ao longo do tempo, tendo no clone MA 2001, produção variando de 1040,43 kg.ha<sup>-1</sup> (T1) a 95,03 kg.ha<sup>-1</sup> (T12). Já com o clone MA 2000, a produção do feijão oscilou entre 986,23 kg.ha<sup>-1</sup> (T1) a 65,85 kg.ha<sup>-1</sup> (T12), não se diferenciando estatisticamente, em grande parte das safras, entre as produções dos feijões, nos dois tipos de clones consorciados em SAF.

Resultado semelhante foi obtido por Carvalho (2009), que, trabalhando com feijão na interação com povoamento de clones de eucaliptos, verificou a redução gradativa da produtividade do feijoeiro, à medida que a floresta se desenvolvia. Segundo Almeida *et al.* (2014), devido ao rápido crescimento em altura dos clones de eucaliptos e, conseqüentemente, na incidência de sombreamento entre as linhas do plantio florestal, ocasiona ao feijoeiro o estiolamento em seus brotos, com aumento gradativo de quedas de flores e folhas, ocasionados pela diminuição significativa dos níveis de carboidratos da cultura agrícola, como consequência da ausência de radiação solar sob as culturas consorciadas.

Em relação à produtividade do feijão-caupi consorciado com o Angico, observou-se que nas três primeiras safras a produtividade se manteve constante, não se diferenciando significativamente da produção do monocultivo agrícola, com produção de 1032,23 kg.ha<sup>-1</sup> (T1) a 1017,19 kg.ha<sup>-1</sup> (T3). A partir da safra (T4) aos 23 meses de idade, a produção do feijão consorciado com o Angico começou a se diferenciar significativamente da produção isolada em níveis inferiores, até a safra T13, com variação média de 38,96% abaixo da produção do cultivo isolado, considerando o período específico. A redução da produtividade do feijão consorciado com o Angico ocorreu em função do rápido sombreamento das áreas de cultivo, que, mesmo com os benefícios inerentes à associação entre as duas espécies, visto que ambas são leguminosas e fixadoras de nitrogênio ao solo, não impediu a redução significativa da produtividade do feijoeiro ao longo do tempo.

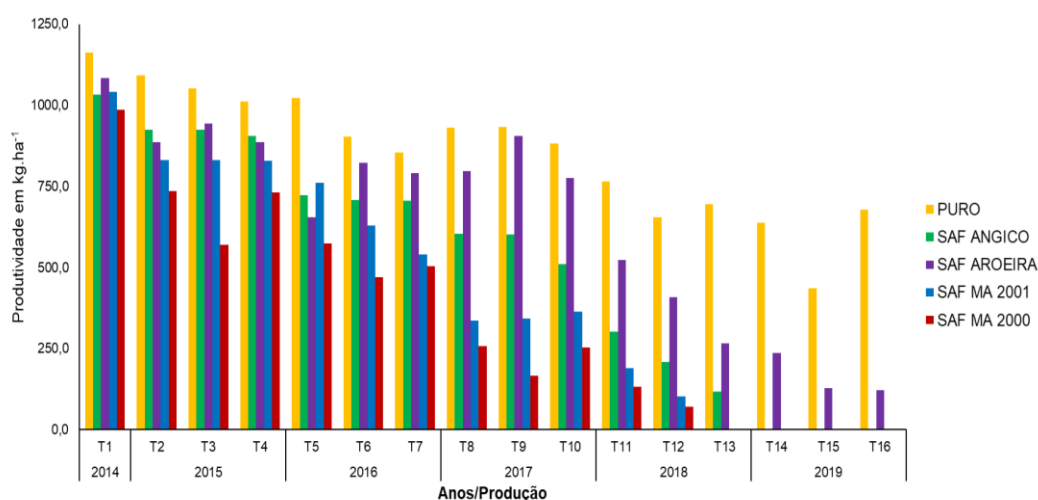
Silva *et al.* (2011) observaram benefícios nas características químicas do solo, provenientes da associação em SAF com o uso do feijão-caupi com espécies nativas arbóreas leguminosas, obtendo-se um significativo aumento de teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e N, contribuindo com o enriquecimento nutricional do solo, principalmente em áreas com altos riscos de degradação.

Já com o consórcio em SAF com a espécie nativa da Aroeira, devido ao crescimento lento da espécie florestal, a produção do feijão-caupi manteve-se até a

última safra (T16), aos 67 meses, não se diferenciando significativamente em mais da metade dos cultivos, quando comparada à produtividade do cultivo isolado. A variação da produção do feijão-caupi consorciado com a Aroeira ficou entre 1083,30 kg.ha<sup>-1</sup> (T1) e 121,17 kg.ha<sup>-1</sup> (T16), tendo finalizado sua produção com o início do fechamento da copa das árvores entre as linhas de cultivo.

Beltrame e Rodrigues (2008) perceberam a ocorrência de interação positiva na produtividade do cultivo de feijão guandu, consorciado com espécies florestais nativas, entre elas a Aroeira (*Myracrodun urundeuva*), obtendo benefícios mútuos para ambas as espécies durante o desenvolvimento dos cultivos associados.

Na Figura 23, está ilustrada a produção média do feijão-caupi (kg.ha<sup>-1</sup>), em todas as formas de cultivo agrícola, considerando-se as 16 safras.

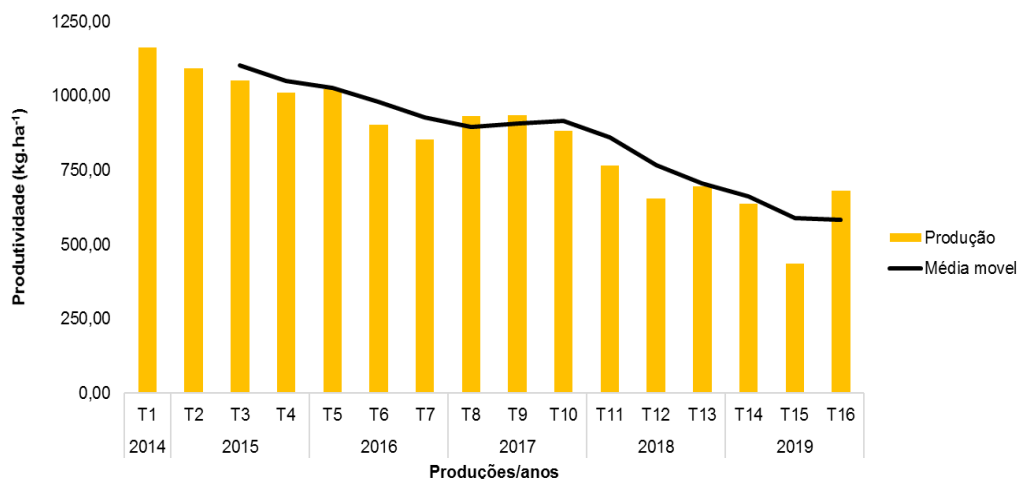


Fonte: O autor (2023)

**Figura 23:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi ao longo do tempo, em função das diferentes formas de cultivos florestais.

Analisando-se de forma individual, a produtividade do feijão-caupi ao longo do tempo, em cada respectiva forma de cultivo, em função do comportamento da média móvel, considerando um intervalo de três safras, pode-se observar que, no monocultivo (Figura 24), a produção do feijão-caupi teve uma leve tendência de queda na produtividade ao longo das safras.



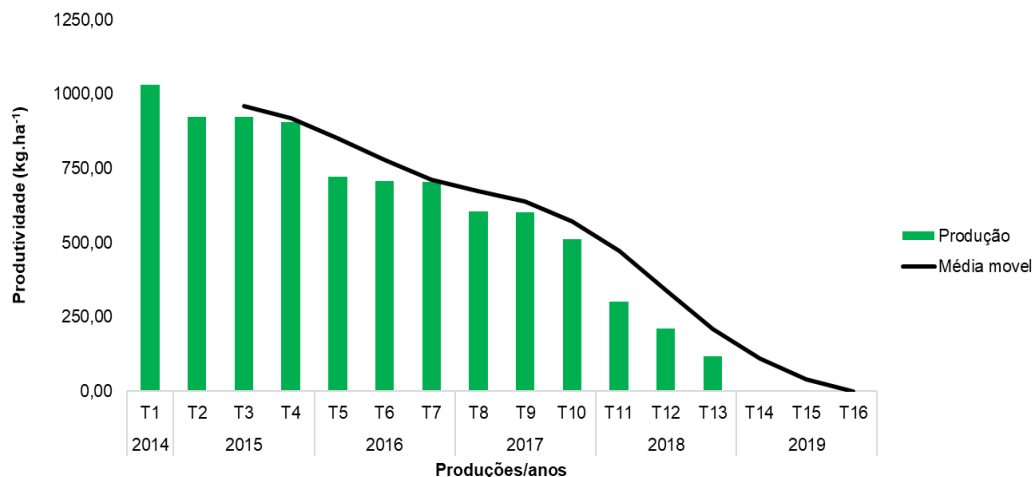


Fonte: O autor (2023)

**Figura 24:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi no monocultivo ao longo do tempo, em relação à média móvel.

Observa-se que ocorreram dois curtos períodos de estabilidade entre as safras T8 e T10, como também na penúltima e última safra, (T15) à (T16), onde a produção do feijão ficou levemente acima da produtividade média. Tal comportamento já era esperado, visto que, em monocultivos prolongados, tende a ocorrer a degradação dos componentes químicos e físicos do solo, ocasionando, assim, uma redução significativa da produtividade da cultura agrícola ao passar dos anos (FREITAS *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2020).

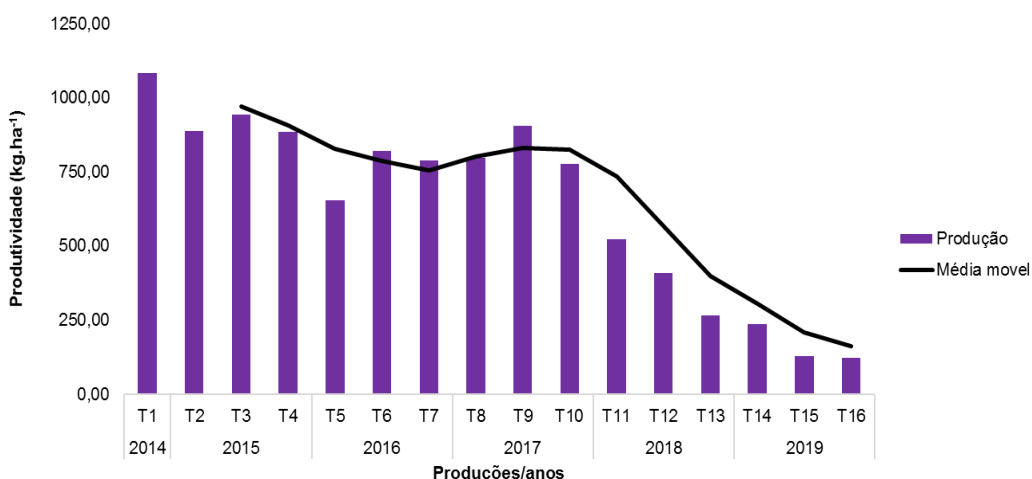
No cultivo consorciado com o Angico, observando-se o comportamento da média móvel (Figura 25), a tendência foi de queda constante em todas as safras do feijoeiro, com produções abaixo da média móvel, tendo, a partir da safra T10, declínio negativo acima de 10% em relação ao período anterior.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 25:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi no cultivo em SAF com Angico, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

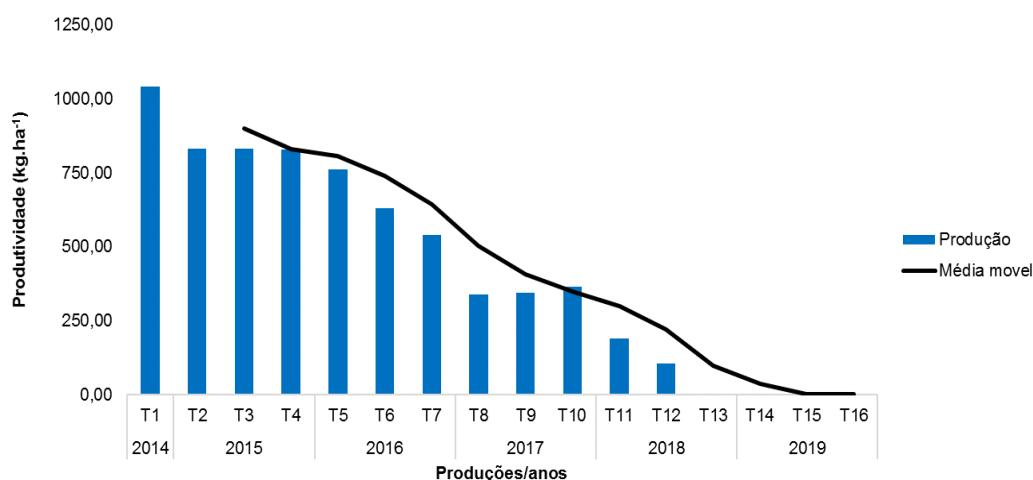
Com o consórcio com a Aroeira, a produtividade do feijão-caupi, nas primeiras sete safras, obteve leve tendência de queda, abaixo da média da produtividade, em torno de 6,07%. Nas safras T8 e T9, ocorreu um crescimento na produção do feijão acima da média, em torno de 1%. Após esse período, com o desenvolvimento das árvores da Aroeira, a produção voltou à tendência de queda, com índice médio negativo de 20,24% nas safras de T10 a T16 (Figura 26).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 26:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi no cultivo em SAF com Aroeira, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

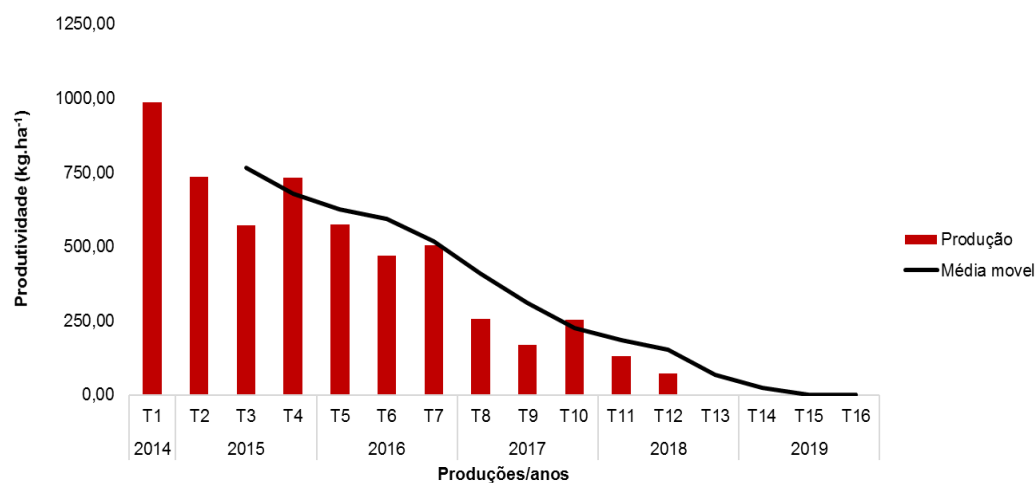
Observando-se o comportamento da produtividade do feijão-caupi com os clones de eucaliptos, percebe-se que, em ambos os clones, ocorreu tendência de queda na produtividade do feijão, a qual se manteve constante o seu declínio entre as safras T3 e T12, com média negativa de queda em 14,24% para o clone MA 2001 e 16,13% para o clone MA 2000. Somente na safra T10, para o consórcio com o clone MA 2001 (Figura 27), a produção do feijão ficou levemente acima da média, com produtividade de 363,09 kg.ha<sup>-1</sup>.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 27:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi no cultivo em SAF com o clone MA 2001, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

Já com o clone MA 2000 (Figura 28), ocorreu produção acima da média em duas safras distintas, (T4) com 731,05 kg.ha<sup>-1</sup> e na (T10), com 252,93 kg.ha<sup>-1</sup>.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 28:** Produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão-caupi no cultivo em SAF com o clone MA 2000, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

Ceccon (2008), avaliando a produtividade do feijoeiro, consorciado em SAF com clone de *Eucalyptus urophylla*, na região Sudeste do Brasil, obteve, nos dois primeiros anos de plantio, valores próximos ao encontrado nesta pesquisa. No primeiro ano, o autor obteve, na produção de feijão, aproximadamente 820 kg.ha<sup>-1</sup>, valor esse abaixo do encontrado nesta pesquisa para o clone MA 2001, com 1040,43 kg.ha<sup>-1</sup>, e MA 2000 com 986,23 kg.ha<sup>-1</sup>. Já no segundo ano, a produção média obtida pelo o autor foi de aproximadamente 916 kg.ha<sup>-1</sup>, valor superior em comparação com o mesmo período para o clone MA 2001, com 830,05 kg.ha<sup>-1</sup> e MA 2000 com 678,84 kg.ha<sup>-1</sup>. No entanto, deve-se considerar que o espaçamento utilizado pelo autor, no sistema de consórcio, foi maior, com 5mx2m, influenciando na maior incidência de luz solar entre as plantas, proporcionando um aumento gradativo na produtividade do feijão.

#### 5.7.9 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do feijão-caupi, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações

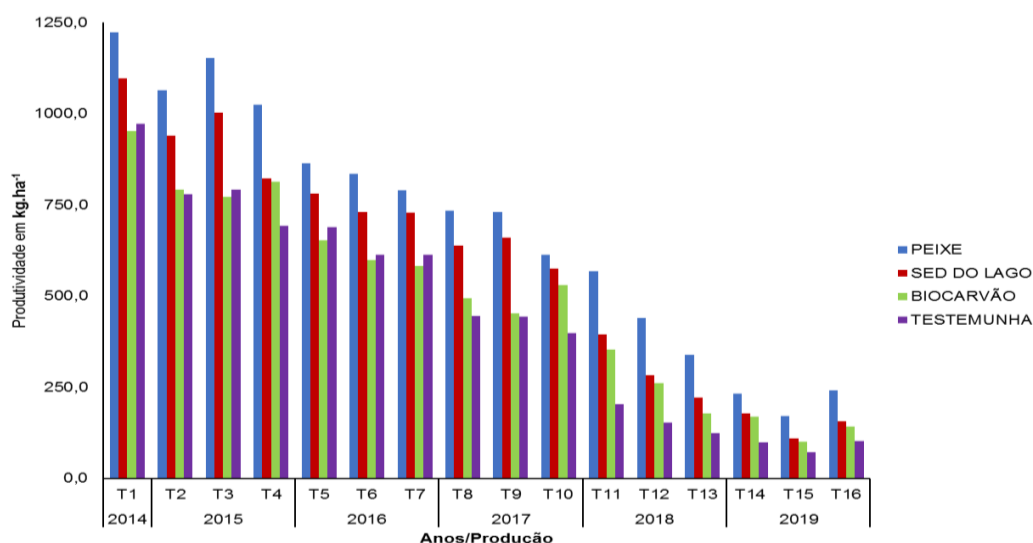
De acordo com o teste de Tukey (Apêndice 7), ao nível de 1% de significância, em relação ao aumento da produtividade média do feijão-caupi (kg.ha<sup>-1</sup>), em função das diferentes adubações, distribuídas ao longo do tempo em cada safra, percebe-se uma predominância significativa no aumento da produção do feijoeiro, em função dos adubos orgânicos provenientes do resíduo de tanques de piscicultura e do sedimento do lago de Itaparica. Em 13 safras (T1; T2; T4; T5; T7; T8; T9; T10; T12; T13; T14; T15 e T16) dos dois adubos orgânicos, não houve diferença entre o aumento da produção de feijão. Tal fato se deve ao elevado teor de nutrientes presentes nesses dois compostos orgânicos, com maior concentração de nitrogênio e matéria orgânica, proporcionando um aumento significativo no crescimento e produção de folhas, flores e frutos nas espécies cultivadas.

Resultado semelhantes foi obtido por Drózd et al. (2020), que, utilizando adubos provenientes do resíduo de tanques de piscicultura, observou um maior crescimento e vigor no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L), potencializando seu desenvolvimento e produtividade.

Observou-se que o uso do biocarvão, mesmo que em algumas safras não tenha se diferenciado da testemunha, em grande parte do período de cultivo, o seu uso nas covas apresentou desempenho significativo na produtividade do feijoeiro, similares

aos adubos orgânicos. Isso se justifica, segundo Novak, *et al.* (2014), porque o biocarvão apresenta características peculiares na interação com o solo, pois o mesmo tende a promover o aumento significativo na fixação do carbono e na retenção de nitrogênio nas partículas do solo, favorecendo a melhoria da qualidade do terreno para o cultivo agrícola. No entanto, os autores ressaltam que a qualidade do biocarvão, para o aumento da fertilidade do solo, depende da escolha da espécie vegetal que vai ser utilizada na produção do biocarvão, como também da sua mistura e das condições de pirólise do material vegetal.

Observando o comportamento da produtividade do feijão-caupi ao longo do tempo (figura 29), percebe-se um declínio considerado na sua produtividade, podendo ser atribuído tanto à competição com as espécies florestais nos consórcios quanto à exaustão dos solos, mesmo com a aplicação constante dos adubos orgânicos a cada safra.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 29:** Produtividade médias ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) do feijão-caupi, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações.

5.8 - Avaliação da produtividade da cultura agrícola capim Tanzânia cultivado nos sistemas em SAF e no monocultivo

5.8.1 - Teste de Mauchly

Na Tabela 28, está exposto o resultado do teste de Mauchly para a produtividade do capim Tanzânia, tendo seu resultado significativo no seu efeito em relação à variável tempo, rejeitando-se, desta forma, a hipóteses de nulidade.

**Tabela 28:** Resultado do teste de Mauchly em relação à produtividade média do capim Tanzânia ao longo do tempo

<i>Efeito do tratamento</i>	W de Mauchly	Aprox. Qui-quadrado	gl	Sig.
<b>Tempo</b>	1,9962*E <sup>-24</sup>	2700,668	495	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.8.2 - Testes multivariados para as hipóteses

Nas Tabelas 29 e Tabela 30, estão descritos os resultados dos testes multivariados em função do efeito do tempo e suas interações em relação à produtividade do capim Tanzânia.

### 5.8.3 - Efeito do fator tempo

Os resultados obtidos nos testes multivariados em função do tempo (Tabela 29) indicam a rejeição da hipótese nula  $H_{02}$ , ao nível de significância de 1%, sugerindo que o tempo exerce influência significativa no aumento da produtividade do capim Tanzânia.

**Tabela 29:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo em relação à produtividade média do capim Tanzânia, ao longo do tempo

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b>Tempo</b>	Rastreio de Pillai	0,994	165,812	**
	Lambda de Wilks	0,006	165,812	**
	Rastreio de Hotelling	171,339	165,812	**
	Maior raiz de Roy	171,339	165,812	**

Fonte: O autor (2023)

### 5.8.4 - Efeito do fator tempo x tratamentos

Ao avaliar as hipóteses nulas em função do tempo x tratamentos, ao longo dos 76 meses, em relação à produtividade do capim Tanzânia, rejeitam-se todas as hipóteses nulas ( $H_{03}$ ), em função das suas interações (Tabela 30), sinalizando a existência de, pelo menos, uma interação do tempo com os tratamentos que atuam de forma dependente.

**Tabela 30:** Resultado do teste multivariado para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação à produtividade média do capim Tanzânia

<i>Efeito</i>	<i>Estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b><i>Tempo x Formas de cultivos</i></b>	Rastreio de Pillai	3,788	19,011	**
	Lambda de Wilks	**	20,967	**
	Rastreio de Hotelling	96,654	22,215	**
	Maior raiz de Roy	42,273	45**	**
<b><i>Tempo x Adubações</i></b>	Rastreio de Pillai	2,070	2,297	**
	Lambda de Wilks	,026	2,345	**
	Rastreio de Hotelling	7,713	2,378	**
	Maior raiz de Roy	3,979	4,107	**
<b><i>Tempo x Formas de cultivos *adubações</i></b>	Rastreio de Pillai	6,445	1,534	**
	Lambda de Wilks	**	1,920	**
	Rastreio de Hotelling	32,670	2,474	**
	Maior raiz de Roy	11,376	15,046	**

Fonte: O autor (2023)

#### 5.8.5 - Efeito do fator tratamento

Na Tabela 31, estão os resultados dos testes multivariados em função do efeito tratamento e suas interações, conforme a variável referente à produtividade do capim Tanzânia, apresentando todos os efeitos e suas interações significativas, rejeitando-se a hipótese de nulidade ( $H_{01}$ ), revelando-se que os tratamentos utilizados (formas de cultivo, adubações e suas interações) influenciam no aumento da produtividade do capim Tanzânia no experimento.

**Tabela 31:** Resultado do teste multivariado para o fator tratamento e suas interações em relação à produtividade média do capim Tanzânia

<i>Efeito</i>		<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b>Formas de Cultivos</b>	Rastreio de Pillai	3,823	21,627	**
	Lambda de Wilks	**	25,424	**
	Rastreio de Hotelling	133,325	28,644	**
	Maior raiz de Roy	63,367	63,367	**
<b>Adubações</b>	Rastreio de Pillai	2,141	2,416	**
	Lambda de Wilks	0,019	2,497	**
	Rastreio de Hotelling	8,806	2,538	**
	Maior raiz de Roy	4,162	4,032	**
<b>Formas de Cultivos x Adubações</b>	Rastreio de Pillai	6,568	1,512	**
	Lambda de Wilks	**	1,916	**
	Rastreio de Hotelling	35,519	2,513	**
	Maior raiz de Roy	12,911	16,139	**

Fonte: O autor (2023)

#### 5.8.6 - Análise da variância multivariada (MANOVA) dos tratamentos em função do tempo

Considerando-se os resultados da Tabela 32, verifica-se que os efeitos do tempo em função dos seus respectivos tratamentos e suas interações foram significativos, ao nível de 1% de probabilidade, em relação à produtividade do capim Tanzânia, confirmando os resultados já obtidos dos respectivos testes multivariados. Tais resultados confirmam que o fator tempo é uma medida divergente que influencia diretamente no aumento da produtividade do capim Tanzânia ( $T/ha^{-1}$ ), sendo imprescindível analisar os efeitos existentes entre os tratamentos por meio da análise univariada ao longo do tempo.



**Tabela 32:** Resultado da MANOVA (efeito entre os tratamentos) em relação à produtividade média (T.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia em função do tempo, da forma de cultivo em cada espaçamento e das adubações

<i>Fonte de variação</i>	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
<i>Tempo</i>	31	3948,729	127,378	220,227	**
<i>Tempo x Formas de Cultivo</i>	124	1290,032	10,403	17,987	**
<i>Tempo x Adubações</i>	93	110,211	1,185	2,049	**
<i>Tempo x Formas de Cultivo x Adubações</i>	372	298,017	,801	1,385	**
<i>Resíduo</i>	1860	1075,817	,578		

Fonte: O autor (2023)

#### 5.8.7 - Análise da variância (ANOVA) para avaliar os efeitos entre os tratamentos

Verificando-se os resultados da Tabela 33, confirma-se que os tratamentos (formas de cultivo, adubações e suas interações) foram estatisticamente significativos em todas as suas fontes de variação, sendo necessária a verificação individual das médias dos respectivos tratamentos, em função de cada tempo de medição, no qual foi obtido o valor da produção média por hectare do capim Tanzânia, por meio do teste post-hoc de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela 33:** Resultado da ANOVA (efeito entre os tratamentos) em relação à produtividade média (T.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia, em função da forma de cultivo em cada espaçamento e das adubações

<i>Fonte de variação</i>	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
<i>Formas de Cultivo</i>	4	2923,638	730,909	311,199	**
<i>Adubações</i>	3	55,753	18,584	7,913	**
<i>Formas de Cultivo x Adubações</i>	12	88,854	7,404	3,153	**
<i>Resíduo</i>	60	140,921	2,349		

Fonte: O autor (2023)

#### 5.8.8 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do capim Tanzânia ao longo do tempo

Conforme os resultados obtidos por meio do teste Tukey, ao nível de 1% de probabilidade (Apêndice 8), em relação à produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia ao longo do tempo, em função das diferentes formas de cultivo florestais, pode-se verificar que o monocultivo do capim se manteve com as maiores

produtividades durante as doze (12) primeiras safras, diferenciando-se significativamente das demais formas de cultivo, tendo sua produtividade de massa verde variando entre 9,59 (T.ha<sup>-1</sup>) na safra T1 e 4,32 (T.ha<sup>-1</sup>) na safra T12. Neste período específico, a produtividade do capim Tanzânia, consorciado com as demais espécies florestais, até a sétima medição (30 meses), não deferiu estatisticamente entre si, indicando que, nos primeiros anos de cultivo, a interação das espécies florestais com o crescimento do capim Tanzânia não influenciou negativamente na produção da forrageira.

A partir deste período, inicia-se uma diferenciação significativa da produtividade do capim consorciado com os clones de eucaliptos (MA 2001 e MA 2000), em relação às demais formas de cultivo, obtendo-se, para esse consórcio, os menores índices de produtividade. Essa redução da produção da forragem ocorreu devido ao rápido crescimento dos clones de eucalipto, potencializados a partir de dois anos e meio de cultivo florestal.

O aumento da altura das árvores potencializou os níveis de sombreamento nas áreas de cultivo, reduzindo, desta forma, a disponibilidade de radiação sob os níveis inferiores do sub-bosque. De acordo com Lazzarini *et al.* (2017), essa redução gradativa dos níveis de luminosidade nos espectros de luz azul e vermelha ocasiona, nas forragens, a diminuição da eficiência fotossintética, reduzindo gradativamente seu crescimento foliar, radicular e a produção da clorofila.

A produtividade do capim no SAF com o Clone MA 2001, a partir da medição T8, variou de 2,87 (t.ha<sup>-1</sup>) a 0,71 (t.ha<sup>-1</sup>) na última medição (T26), aos 64 meses. Já no consórcio com o clone MA 2000, a produtividade foi reduzida de 2,75 (t.ha<sup>-1</sup>), na medição T8, a 0,08 (t.ha<sup>-1</sup>), aos 56 meses (T21).

Resultados semelhantes foram observados por Gontijo Neto, *et al.* (2014), que, avaliando o consórcio em SAF de clones de eucaliptos, aos 22 meses de idade, com capim braquiária, observaram redução significativa na produtividade do capim entre o primeiro e o segundo ano de produção, 1,57(t.ha<sup>-1</sup>) a 0,68 (t.ha<sup>-1</sup>), confirmando que a redução da produtividade da forrageira está associada intrinsecamente à diminuição da radiação fotossintética ativa.

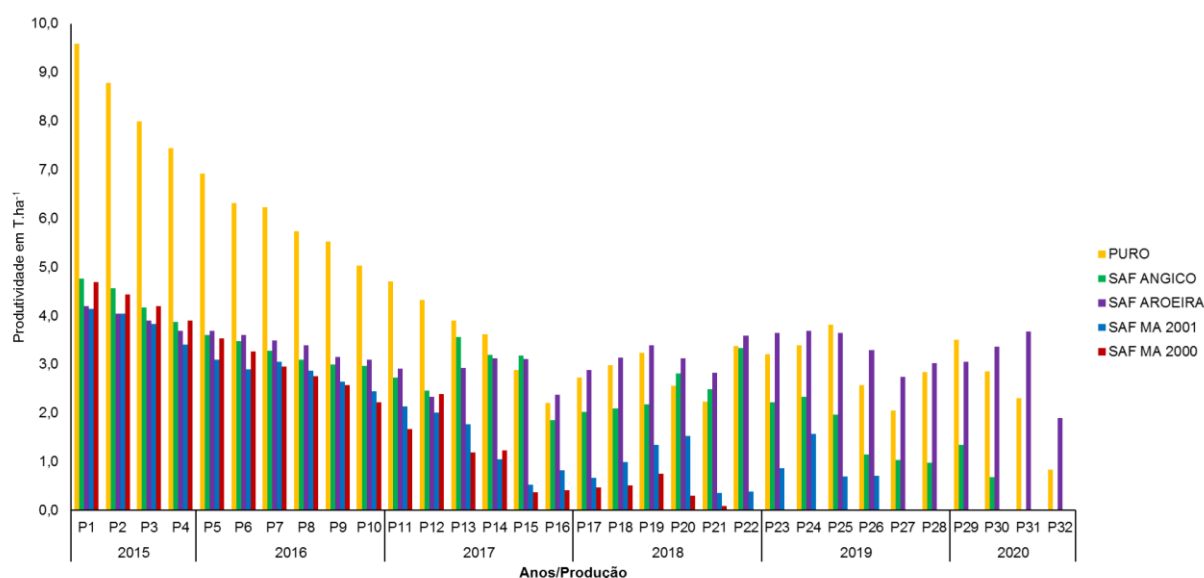
Já com as espécies florestais nativas, a produtividade do capim Tanzânia apresentou o segundo melhor desempenho até a safra T12, quando comparada à do monocultivo. A partir desse momento, o monocultivo não se diferencia significativamente, quando comparado ao sistema em SAF com as nativas,

principalmente pelas influências do consórcio com o Angico nas medições T13 e T14, pois, sendo uma arbórea leguminosa, proporcionou, à espécie forrageira, condições nutricionais que favoreceram a manutenção do seu desenvolvimento.

Carvalho *et al.* (2002) verificaram o comportamento da produtividade do capim Tanzânia, cultivado em um sistema de consórcio com o Angico, em um período de um ano, concluindo que, mesmo com a redução do crescimento da forrageira, a interação do Angico com o capim proporcionou um aumento significativo nutricional da gramínea, quando comparado ao seu cultivo isolado, agregando vantagens extras quando utilizada na nutrição animal.

Com a Aroeira, devido, principalmente, ao seu baixo porte e lento crescimento, a produtividade do capim consorciado apresentou desempenho significativamente superior, a partir da safra T15, com 3,17 (t.ha<sup>-1</sup>), até a última safra (T32), aos 76 meses, com 1,89 (t.ha<sup>-1</sup>), diferenciando-se significativamente do monocultivo, sendo esse o único consórcio a se manter produtivo nessa idade.

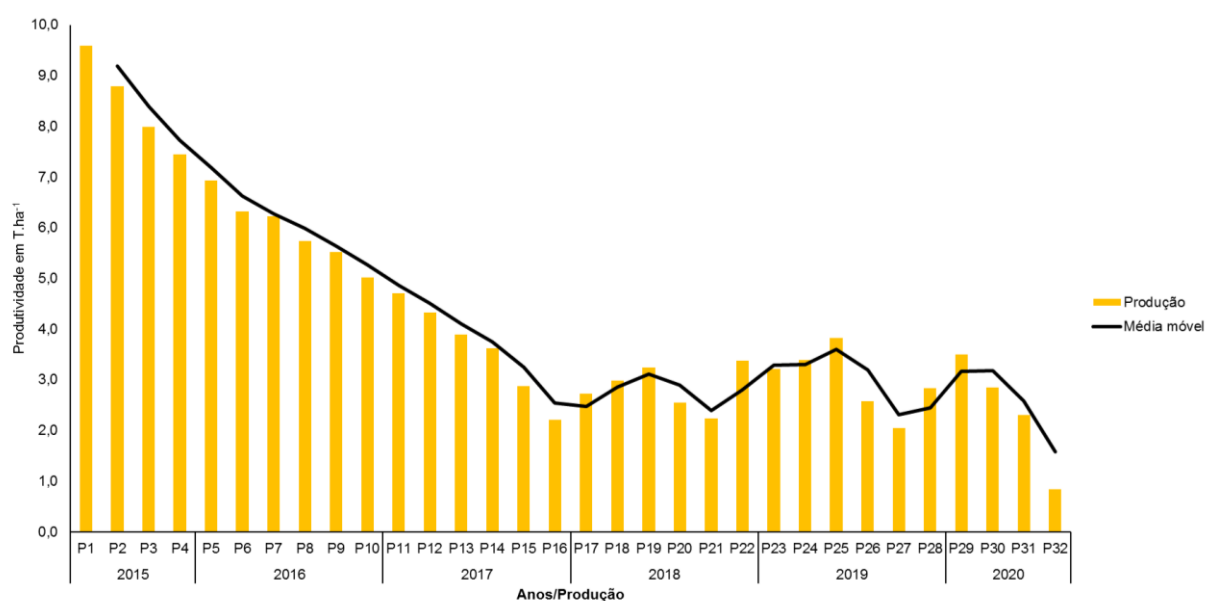
Na Figura 30, é observado o comportamento da produtividade média (T.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia, ao longo do tempo, em função das diferentes formas de cultivo florestais.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 30:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do Capim Tanzânia, ao longo do tempo, em função das diferentes formas de cultivo florestais.

Verificando o comportamento da produtividade do capim Tanzânia em monocultivo (Figura 31), em função da sua média móvel, considerando-se um intervalo de duas safras entre essas médias, foi observado que, no período compreendido entre as safras T2 e T16, ocorreu uma tendência de queda constante na produtividade do capim em -8,61%, tendo, no período correspondente às safras T15 e T16, as maiores quedas de produção, considerando a média móvel com -13,50% e -21,62%, respectivamente. Este fato ocorreu devido ao período de forte estiagem que assolou a região, afetando de forma severa o crescimento e desenvolvimento do capim em seu cultivo isolado.



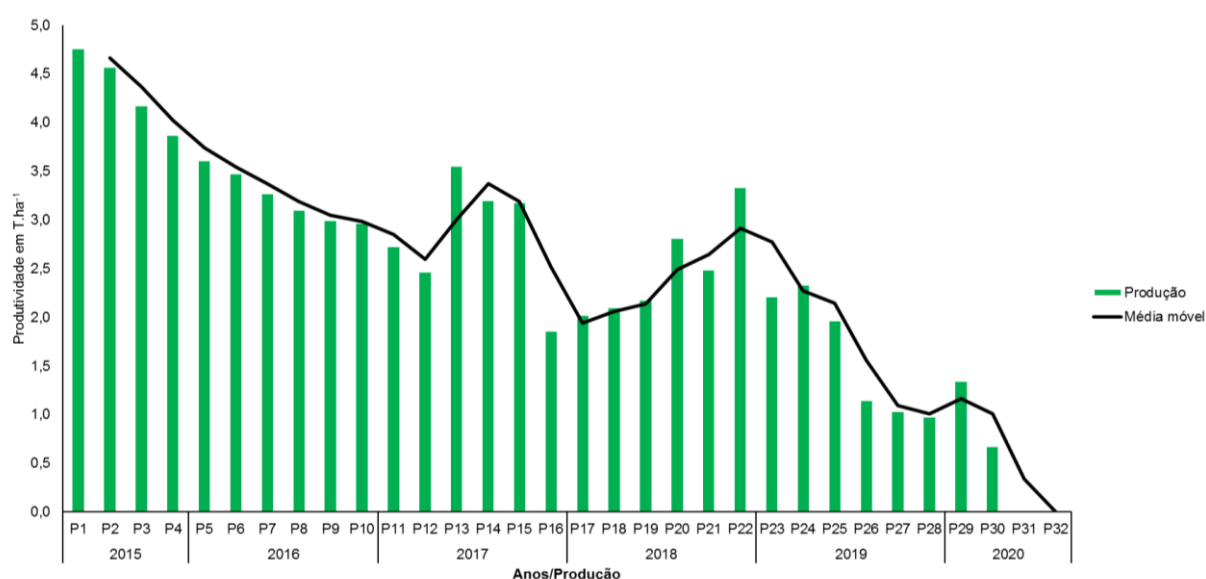
Fonte: O autor (2023)

**Figura 31:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia no monocultivo, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

A partir da safra T17, início de 2018, com as melhoras gradativas dos dados climatológicos na região, ocorreu um aumento na produtividade média do capim, levando a uma tendência de estabilidade na produção de 2,71%, em função da média móvel no período de T17 até a safra T30. Neste intervalo, a produção do capim Tanzânia em monocultivo ficou acima da média em sete períodos distintos (T17; T18; T19; T22; T25; T28 e T29), com média de produção de 3,21 (t.ha<sup>-1</sup>). A partir da safra T31 até T32, iniciou uma forte tendência de queda na produtividade, com média móvel no período de -28,85%, devido à idade prolongada do cultivo, levando, assim, ao declínio da produção.

Segundo Peron e Evangelista (2004), um sistema de produção de forrageira, no qual não é feita a adubação de manutenção ao longo do seu desenvolvimento, tende a sofrer o processo de degradação, levando o cultivo a reduzir de forma significativa sua produtividade, conseqüentemente, diminuindo o vigor da cultura da gramínea forrageira.

Com o consórcio em SAF com as culturas arbóreas nativas, a queda inicial na produção do capim Tanzânia, devido às conseqüências climatológicas, foi menos acentuada, tendo, no SAF com Angico (Figura 32), queda, na média móvel até a safra T16, de -3,94%, correspondendo à produção média de 3,16 (t.ha<sup>-1</sup>).



Fonte: O autor (2023)

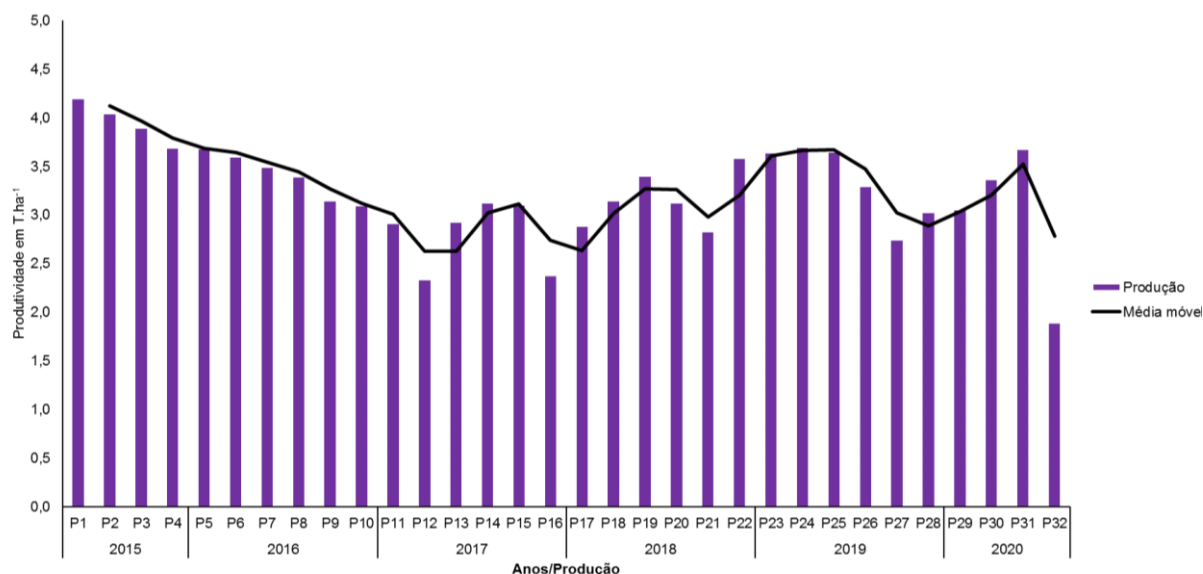
**Figura 32:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia no cultivo em SAF com Angico, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

No início de 2018, no intervalo de safras entre T17 e T22, iniciou-se uma tendência de alta na produtividade de 8,57%, como média móvel de 2,45 (T/ha<sup>-1</sup>) para o período específico. Este acréscimo na produtividade foi potencializado devido à ampliação dos níveis de umidade no solo, ocasionados pelo aumento do regime de chuvas na região e pela manutenção do processo de irrigação das áreas.

Melotto e Laura (2009) relatam que, em ambiente consorciado com umidade de solo elevada, agregado a temperaturas mais moderadas, ocorre facilmente a mineralização do nitrogênio no solo, possibilitando o acréscimo da sua disponibilidade para as plantas e contribuindo com um melhor desempenho da produção das gramíneas. A partir do ano de 2019, na safra T23, iniciou-se uma tendência de queda

na produção da média móvel do capim, de -17,53%, até a finalização da produção na safra (T31) aos 74 meses, devido ao fechamento do dossel das árvores do Angico.

Com o consórcio com a Aroeira (Figura 33), o impacto na queda da produção do capim Tanzânia, devido aos fatores climáticos, não foi sentido de forma mais intensa, visto que a interação existente entre as duas espécies proporcionou um grau de proteção mútua entre as mesmas, ao longo do tempo.



Fonte: O autor (2023)

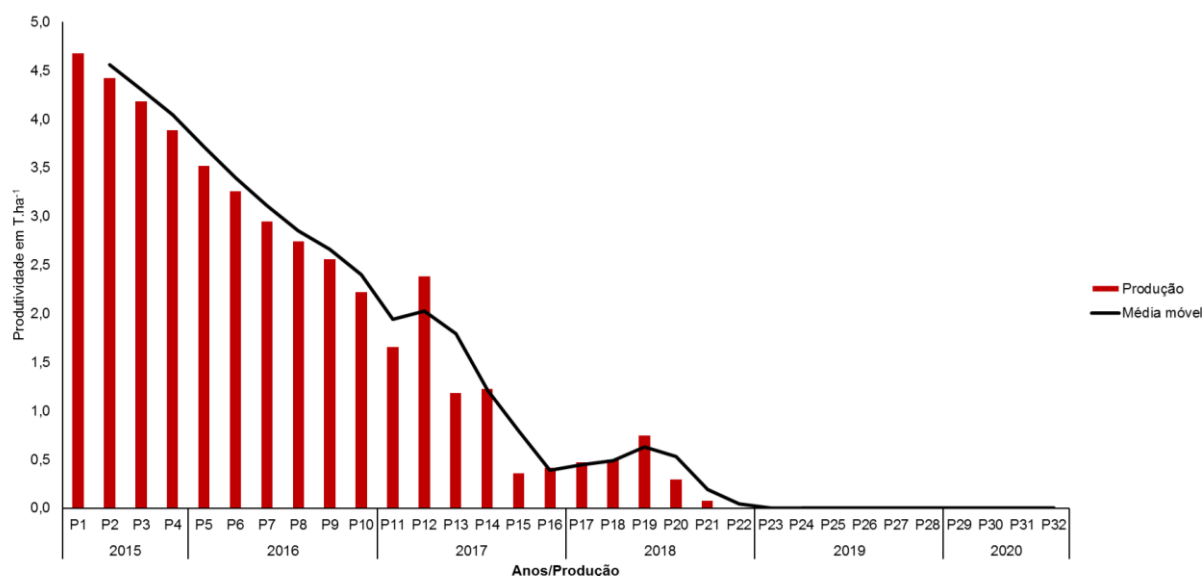
**Figura 33:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia no cultivo em SAF com Aroeira, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

A produção do capim, em função da média móvel, em todo o período produtivo na Aroeira, (T2) a (T31), manteve-se com tendência estável na produtividade, com queda de -0,26%, correspondente à média de produção, por cada ciclo de colheita, de 3,24 (t.ha<sup>-1</sup>).

Cambuim (2013), avaliando um sistema silvipastoril com a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em consórcio com o capim *Brachiaria*, percebeu a eficiência positiva da associação entre as duas espécies, criando a possibilidade de uma produção viável, ambiental e economicamente, ao longo do tempo.

Na associação do capim Tanzânia com os clones de eucaliptos, a produção média da forrageira teve seu desempenho comprometido, com forte tendência de queda, principalmente com o clone MA 2000 (Figura 34), que, durante o período da medição T2 a T16, apresentou redução na produtividade da forrageira de -14,67% no

período vigente, tendo encerrado seu ciclo produtivo na safra (T21) aos 56 meses de idade, com média móvel de 0,19 (t.ha<sup>-1</sup>).

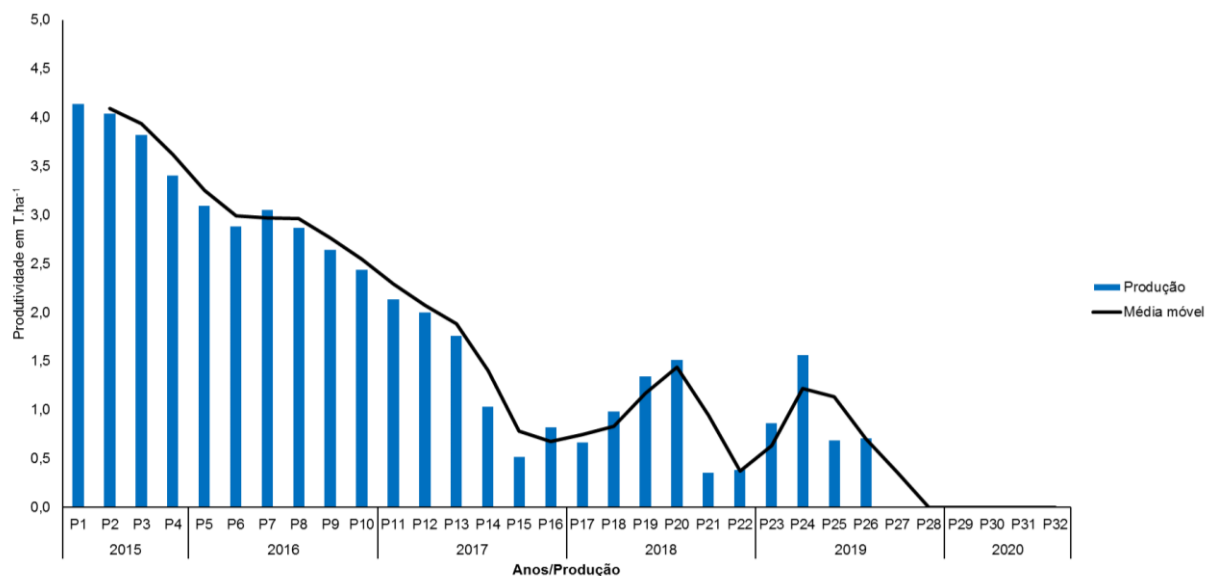


Fonte: O autor (2023)

**Figura 34:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia no cultivo em SAF com o clone MA 2000, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

Com o clone MA 2001 (Figura 35), a produtividade da forrageira se estendeu até a safra (T26) aos 64 meses, tendo, no período de T2 a T16, redução produtiva do capim Tanzânia, em função da sua média móvel, em -11,28%. Após esse período, ocorreram oscilações no aumento e queda da produtividade do capim, tendo, nas safras T1) a T20, aumento de 21,46% em sua produção média, e, na sequência, queda de -47,30% no período de T21 a T22.

No período da medição da produção das safras T23 a T24, ocorreu um aumento significativo de 80,82%, porém esse aumento só correspondeu a 0,93 t.ha<sup>-1</sup>, valor esse reduzido quando comparado à produtividade dos demais sistemas de consórcios.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 35:** Produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia no cultivo em SAF com o clone MA 2001, ao longo do tempo, em relação à média móvel.

5.8.9 - Teste Tukey em relação à produtividade média por hectare do capim Tanzânia, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações

Observando o resultado do teste de Tukey, ao nível de 1% de significância, em função da produtividade do capim Tanzânia ao longo dos 76 meses de cultivo agrícola (Apêndice 9), em relação às diferentes formas de adubação, pode-se observar que a influência dos adubos orgânicos no aumento da produção do capim só foi perceptível até a safra T11, tendo, nos resíduos dos tanques de piscicultura, a melhor resposta na produção inicial do capim Tanzânia, com variação de produção neste período de 6,36 (t.ha<sup>-1</sup>), na safra T1, a 3,34 (t.ha<sup>-1</sup>), na safra T11.

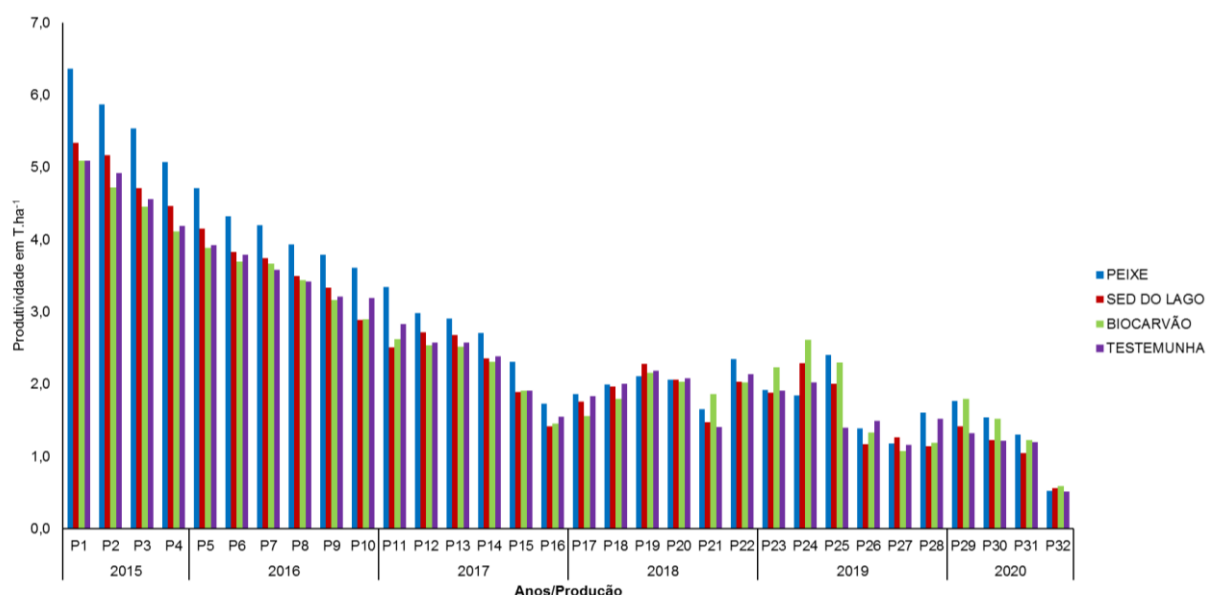
No entanto, no mesmo período, o adubo orgânico proveniente do sedimento do lago não se diferenciou significativamente do adubo do resíduo dos tanques da piscicultura, em seis das 11 medições iniciais, variando de 5,35 (t.ha<sup>-1</sup>), na safra T1, a 2,51 (t.ha<sup>-1</sup>), na safra (T11).

A partir da coleta (T12), para a quantificação da produção do capim, até a última medição produtiva da cultura forrageira, com exceção da medição T15, percebeu-se a não diferença significativa dos adubos orgânicos e condicionadores do solo no aumento significativo da produção, quando comparados ao tratamento sem adubo. Tal fato confirma que os efeitos nutricionais provenientes dos adubos só influenciaram nos anos iniciais, e, como não teve, durante a condução do experimento, novas



adubações com esses compostos orgânicos na área da forrageira, a interferência positiva individual de cada composto no aumento da produtividade deixou de existir, fazendo, assim, com que o solo do sistema se mantivesse com a mineralização dos nutrientes provenientes da deposição das folhas do capim no próprio local, aumentando a matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, reduzindo a perda nutricional pela lixiviação (BRITO; SANTOS, 2010).

Na Figura 36, é visualizado o comportamento da produção do capim Tanzânia ( $t \cdot ha^{-1}$ ) em função dos diferentes adubos, ao longo do tempo, na qual se observa o declínio considerado da produtividade.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 36:** Produtividade média ( $t \cdot ha^{-1}$ ) do capim Tanzânia, ao longo do tempo, em função das diferentes adubações.

## 5.9 – Eficiência produtiva das culturas agrícolas e florestais e aplicabilidade do índice de equivalência da área (IEA)

### 5.9.1 - Eficiência da produtividade relativa do feijão-caupi nos SAF

Observando os resultados do índice de produtividade relativa (IPr) do feijão-caupi, produzido nos diferentes meios de cultivo florestal, percebeu-se que, em nenhum sistema de cultivo consorciado, a produtividade do feijão superou a produção do seu respectivo monocultivo, visto que, em todos os períodos avaliados, os valores obtidos ao IPr ficaram abaixo de 1 (Tabela 34), indicando a existência de uma forte competição

intraespecífica ao longo dos anos do desenvolvimento florestal, que influenciou negativamente no aumento da produtividade do feijoeiro, entre as espécies consorciadas.

**Tabela 34:** Produtividade média do feijão-caupi ( $\text{Kg/ha}^{-1}$ ) ao longo do tempo e seu índice de produtividade relativa em função das diferentes formas de cultivo

PRODUTIVIDADE MÉDIA ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ) / TEMPO						
FEIJÃO CAUPI	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
SAF com Aroeira	1083,3	904,9	755,2	825,6	385,6	157,6
SAF com Angico	1002,5	889,1	764,5	553,5	198,0	0,0
SAF com Clone MA 2001	1040,4	830,0	643,8	347,7	90,8	0,0
SAF com Clone MA 2000	986,2	678,8	516,1	225,7	63,2	0,0
MONOCULTIVO	1162,3	1051,1	925,9	915,6	684,7	576,3
<b>Índice de produtividade relativa (IPr)</b>						
IPr com Aroeira	0,93	0,86	0,82	0,90	0,56	0,27
IPr com Angico	0,86	0,85	0,83	0,60	0,29	-
IPr com Clone MA 2001	0,90	0,79	0,70	0,38	0,13	-
IPr com Clone MA 2000	0,85	0,65	0,56	0,25	0,09	-

Em que: IPr: Índice de produtividade relativa

Fonte: O autor (2023)

Mesmo observando que a produtividade do monocultivo superou, em todos os anos, as produções relativas do feijão em seus consórcios, é interessante destacar que, dentre as associações com as culturas florestais, as espécies nativas desempenharam os melhores resultados no (IPr), tendo na Aroeira seu destaque, com valores que variam entre 0,93, no 1º ano, a 0,27, no 6º ano de produção, sendo esse o único consórcio a produzir nesta respectiva idade.

Já com o Angico, o IPr variou de 0,86, no 1º ano, tendo esse o seu maior valor representativo, reduzindo a 0,29, no 5º último ano de produção.

O clone de eucaliptos que apresentou o melhor desempenho foi o MA 2001, com IPr máximo de 0,90, no 1º ano de cultivo, reduzindo a 0,13, no 5º ano. Já com o MA 2000, o cultivo consorciado teve o menor desempenho, com índice de produtividade relativa, variando de 0,85, no 1º ano, a 0,09, no 5º ano de produção.

Santos *et al.* (2016) perceberam uma queda acentuada na produtividade do feijão-caupi, quando consorciado com uma outra cultura agrícola, em diferentes proporções de agrupamentos entre as culturas, obtendo IPr variando de 0,33 a 0,62. Os autores concluíram que, mesmo utilizando diferentes densidades e espaçamentos de plantio entre as culturas, a forte competição por luz, nutrientes, água e outros fatores envolvidos no crescimento e produção das culturas foi determinante para o baixo índice produtivo do feijão.

Ceccon *et al.* (1999), avaliando o consórcio de *Eucalyptus camaldulensis* aos três anos de idade, com dez cultivares de feijão entre as linhas de plantio florestal, observaram que, em todos, as variedades consorciadas a produtividade relativa ficaram abaixo de 1, tendo, no monocultivo agrícola, produtividade superior a 21%, quando comparada ao consórcio florestal.

### 5.9.2 - Eficiência da produtividade relativa do capim Tanzânia nos SAF

Quando observados os resultados do índice de produtividade relativa (IPr), referentes à produtividade do capim Tanzânia, consorciado com as culturas florestais, comparados ao seu respectivo monocultivo, pode-se observar que, somente com a associação com a Aroeira, o consórcio foi mais eficiente na produção do capim Tanzânia em três períodos distintos (4, 5 e 6 anos), quando seu índice superou o valor de 1, tendo uma produção média da forrageira superior em mais de 15%, comparado ao seu monocultivo, no mesmo período observado (Tabela 35).

**Tabela 35:** Produtividade do capim Tanzânia (t.ha<sup>-1</sup>) ao longo do tempo e seu índice de produtividade relativa em função das diferentes formas de cultivo

PRODUTIVIDADE MÉDIA (t.ha <sup>-1</sup> ) / TEMPO						
CAPIM TANZÂNIA	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
SAF com Aroeira	15,82	13,60	10,81	12,64	13,36	11,98
SAF com Angico	17,37	12,94	11,32	9,16	3,29	0,50
SAF com Clone MA 2001	15,42	11,33	5,07	2,11	0,73	0,00
SAF com Clone MA 2000	17,20	11,53	4,20	0,50	0,00	0,00
MONOCULTIVO	33,80	23,83	14,41	11,40	11,91	9,49
Índice de produtividade relativa (IPr)						
IPr com Aroeira	0,47	0,57	0,75	1,11	1,12	1,26
IPr com Angico	0,51	0,54	0,79	0,80	0,28	0,05
IPr com Clone MA 2001	0,46	0,48	0,35	0,19	0,06	-
IPr com Clone MA 2000	0,51	0,48	0,29	0,04	-	-

Em que: IPr: Índice de produtividade relativa

Fonte: O autor (2023)

Resultados semelhantes foram obtidos por Lacerda *et al.* (2009), que, avaliando o cultivo de capim Andropógon (*Andropogon gayanus* Kunth.), espécie também tolerante à seca, em consórcio com espécies florestais nativas de baixo porte, observaram que a produção da forrageira, quando associada a estas espécies florestais, obteve sob sua associação de 12,3% a 31,6% mais fitomassa (t.ha<sup>-1</sup>), quando comparada ao seu respectivo monocultivo. De acordo com esses autores, o sombreamento parcial promovido pelas árvores pode, em alguns casos, favorecer o

desenvolvimento de espécies específicas de forrageira, mediante uma maior ciclagem de nutrientes ao solo.

O comportamento obtido no SAF com a Aroeira não foi alcançado quando associado o capim Tanzânia com o Angico, visto que seu índice de produtividade relativa ficou abaixo de 1 em todos os períodos de coleta, tendo seu valor reduzido gradativamente ao passar do tempo. Isto foi devido à alta taxa de adensamento de folhas e galhos das copas do Angico, produzindo um sombreamento intenso em toda a área plantada, impedindo a entrada de radiação nos extratos inferiores do povoamento.

Comportamento semelhante ao obtido pelo consórcio com o Angico, foi observado com a produtividade do capim Tanzânia em consórcio com os clones de eucaliptos, nos quais seu índice de produtividade relativa obteve os menores valores de todo o experimento, tendo, para o clone MA 2000, valores oscilando entre 0,51, no 1º ano, a 0,04, no 4º ano, e, para o clone MA 2001, valores de 0,46, no 1º ano, a 0,06, no 5º ano, encerrando sua consorciação. Segundo Cremonez *et al.* (2013), algumas espécies de eucalipto podem desenvolver efeitos alelopáticos significativos na inibição e retardamento do crescimento de espécies agrícolas quando consorciadas sob árvores.

### 5.9.3 - Índice de eficiência de área (IEA) do feijão-caupi com as culturas arbóreas nos diferentes tipos de cultivos florestais e a contribuição relativa (%) do feijão-caupi e das culturas florestais nos SAF ao longo do tempo

Ao verificar os resultados obtidos para o índice de equivalência de área (IEA) em relação à produção do feijão-caupi, com a produtividade das essências florestais consorciadas e em monocultivo, pode-se observar que a associação da Aroeira no monocultivo (3 m x 2 m) com o seu respectivo consórcio (4 m x 2 m) obteve êxito somente no 4º ano, com IEA de 1,38, indicando que o consórcio de culturas aumentou em 38% a sua produtividade em relação aos seus monocultivos (Tabela 36).

**Tabela 36:** Produtividade média ( $\overline{Vol}$  m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) das espécies arbóreas, nos diferentes tipos de cultivos, e índice de eficiência de área (IEA) dos cultivos arbóreos com o feijão-caupi ao longo do tempo

Espécies Florestais / Forma de cultivo	PRODUTIVIDADE ( $\overline{Vol}$ m <sup>3</sup> / ha <sup>-1</sup> ) / TEMPO					
	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
Aroeira - Monocultivo 3 m x 2 m	-	0,94	1,59	3,13	5,72	11,23
Aroeira - Monocultivo 4 m x 2 m	-	0,00	0,00	0,55	0,93	2,74
Aroeira - SAF 4 m x 2 m	-	0,01	0,01	1,49	2,02	6,85
Angico - Monocultivo 3 m x 2 m	-	5,02	9,79	16,80	20,55	36,44
Angico - Monocultivo 4 m x 2 m	-	0,31	0,79	3,50	6,27	15,40
Angico - SAF 4 m x 2 m	-	1,80	3,72	10,36	14,88	29,29
Clone MA 2001 - Monocultivo 3 m x 2 m	-	39,17	43,58	46,77	56,33	75,84
Clone MA 2001 - Monocultivo 4 m x 2 m	-	3,54	3,91	3,64	5,76	9,86
Clone MA 2001 - SAF 4 m x 2 m	-	14,39	21,18	25,43	33,19	48,28
Clone MA 2000 - Monocultivo 3 m x 2 m	-	10,83	14,26	16,36	22,20	35,29
Clone MA 2000 - Monocultivo 4 m x 2 m	-	10,50	15,60	16,61	20,32	33,52
Clone MA 2000 - SAF 4 m x 2 m	-	10,52	18,64	20,52	26,70	38,46
<b>Índice de Equivalência de área (IEA)</b>						
IEA com Aroeira Monocultivo 3mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	0,87	0,83	<b>1,38</b>	0,91	0,88
IEA com Aroeira Monocultivo 4mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	-	-	<b>3,61</b>	<b>2,73</b>	<b>2,77</b>
IEA com Angico Monocultivo 3mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>1,21</b>	<b>1,21</b>	<b>1,22</b>	<b>1,01</b>	-
IEA com Angico Monocultivo 4mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>6,66</b>	<b>5,54</b>	<b>3,56</b>	<b>2,66</b>	-
IEA com Clone MA 2001 Monocultivo 3mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>1,16</b>	<b>1,19</b>	0,92	0,72	-
IEA com Clone MA 2001 Monocultivo 4mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>4,85</b>	<b>6,12</b>	<b>7,37</b>	<b>5,89</b>	-
IEA com Clone MA 2000 Monocultivo 3mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>1,62</b>	<b>1,87</b>	<b>1,50</b>	<b>1,29</b>	-
IEA com Clone MA 2000 Monocultivo 4mx2m e SAF 4 m x 2 m	-	<b>1,65</b>	<b>1,75</b>	<b>1,49</b>	<b>1,40</b>	-

Em que: IEA: Índice de Equivalência de área  
Fonte: O autor (2023)

Este aumento de produtividade teve a contribuição relativa do feijão-caupi em 65,22% em função da contribuição florestal de 34,78%. Já quando é comparada a Aroeira em SAF com o seu respectivo monocultivo 4 m x 2 m, observa-se um IEA variando de 3,61 a 2,77, no intervalo de quatro a seis anos, tendo, no consórcio, uma maior eficiência, com contribuição relativa da espécie florestal de 81,60%, em média, para o período específico (Tabela 37). Esse fato se deu devido aos problemas já observados em relação ao nível de mortalidade e desenvolvimento das espécies arbóreas nas áreas de monocultivo 4 m x 2 m.

**Tabela 37:** Contribuição relativa do feijão-caupi e das culturas florestais nos SAF (%) ao longo do tempo

Contribuição relativa das culturas nos SAF (%)	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	-	-	<b>65,22</b>		-
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal				34,78		
Aroeira (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	-	-	24,93	20,51	9,75
Aroeira (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal				<b>75,07</b>	<b>79,49</b>	<b>90,25</b>
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	<b>70,25</b>	<b>68,59</b>	49,18	28,71	-
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		29,75	31,41	<b>50,82</b>	<b>71,29</b>	
Angico (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	12,76	14,98	16,85	10,90	-
Angico (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>87,24</b>	<b>85,02</b>	<b>83,15</b>	<b>89,10</b>	
MA 2001 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	<b>68,10</b>	<b>58,82</b>	-	-	-
MA 2001 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4x2) – Cultura florestal		31,90	41,18			
MA 2001 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	16,29	11,44	5,16	2,21	-
MA 2001 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>83,71</b>	<b>88,56</b>	<b>94,84</b>	<b>97,79</b>	
MA 2000 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	40,12	29,95	16,67	6,98	-
MA 2000 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>59,88</b>	<b>70,05</b>	<b>83,33</b>	<b>93,02</b>	
MA 2000 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	39,39	32	16,78	6,43	-
MA 2000 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>60,61</b>	<b>68</b>	<b>83,22</b>	<b>93,57</b>	

Em que: \*Os números em negritos destacam as maiores contribuições no IEA

Fonte: O autor (2023)

Com o Angico, a eficiência produtiva nos consórcios ocorreu nos anos iniciais, do segundo ao quinto ano, com valores de 1,21 e 1,01, quando comparada com o monocultivo florestal 3 m x 2 m, com contribuição relativa média nos dois períodos iniciais, para o feijão-caupi de 69,42%, e, nos dois anos sequencias, com contribuição média para a cultura florestal de 61,05. Já quando é observada a associação com o monocultivo florestal 4 m x 2 m, a eficiência da produtividade dos consórcios aumenta, com valores variando de 6,66, no segundo ano, a 2,66, no quinto ano de cultivo, com uma contribuição relativa média de 86,13% para a cultura florestal, correspondente ao período de 2 a 5 anos (Tabela 37).

Com os clones de eucaliptos, quando comparado ao monocultivo 3 m x 2 m, observa-se que o IEA só foi favorável ao consórcio nos segundo e terceiro anos de cultivo, especificamente para o clone MA 2001, com valores de 1,16 e 1,19. Para essa associação, a cultura agrícola de feijão obteve maior contribuição relativa, com índices de 63,46%. No restante do período, o monocultivo foi mais eficiente. Já quando é comparado ao monocultivo 4 m x 2 m, o índice de eficiência de área varia de 4,85 a 5,89, correspondente ao intervalo do segundo ao quinto ano, tendo, para o consórcio, a maior eficiência, com contribuição relativa média ao período em específico, de 91,22% para a cultura florestal.

Com o clone MA 2000, tanto na comparação com o monocultivo 3 m x 2 m quanto para o 4 m x 2 m, o IEA demonstra a superioridade do consórcio em relação à produtividade média das culturas, com contribuição relativa da produção florestal variando entre 60,61% a 93,57%. Isto se torna evidente, visto que a produção

volumétrica das árvores consorciadas teve aumento significativo dos seus volumes, favorecidos pela associação positiva entre as espécies e o espaçamento estabelecido para as mesmas.

Resultados obtidos por Tonini *et al.* (2019) corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa, pois os autores, avaliando um sistema de integração lavoura-floresta com o uso de eucaliptos, constataram a melhor eficiência de uso do solo com sistemas consorciados em relação à monocultura, durante todo o seu ciclo produtivo.

Nieri *et al.* (2021), analisando a perspectiva da utilização de outras culturas agrícolas em sistemas de SAF, em regiões semiáridas, verificaram a eficiência do uso dos eucaliptos em sistemas de consórcios, obtendo índices de equivalências de área superiores aos do monocultivo agrícola, corroborando, deste modo, com os resultados obtidos neste estudo.

#### 5.9.4 - Índice de eficiência de área (IEA) do capim Tanzânia com as culturas arbóreas nos diferentes tipos de cultivos florestais e contribuição relativa (%) do capim Tanzânia e das culturas florestais nos SAF ao longo do tempo

Os resultados obtidos para o índice de equivalência de área (IEA) na associação da forrageira com as essências florestais nativas indicam a eficácia do consórcio entre as espécies do capim Tanzânia com a Aroeira, para o período correspondente dos quatro aos seis anos de cultivo. Em comparação com o monocultivo 3 m x 2 m, o valor médio para o período foi de 1,32, indicando a eficiência do consórcio em 32% a mais que o seu respectivo monocultivo. Quanto ao monocultivo 4 m x 2 m, para o mesmo período específico, o índice médio obtido foi de 1,90 (Tabela 38).

**Tabela 38:** Produtividade média ( $\overline{Vol}$  m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) nos diferentes tipos de cultivos, e índice de eficiência de área (IEA) dos cultivos arbóreos com o capim Tanzânia ao longo do tempo

Espécies Florestais / Forma de cultivo	PRODUTIVIDADE ( $\overline{Vol}$ m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ) / TEMPO					
	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
Aroeira - Monocultivo 3mx2m	-	0,94	1,59	3,13	5,72	11,23
Aroeira - Monocultivo 4mx2m	-	0,00	0,00	0,55	0,93	2,74
Aroeira - SAF 4mx2m	-	0,01	0,01	0,49	0,78	1,33
Angico - Monocultivo 3mx2m	-	5,02	9,79	16,80	20,55	36,44
Angico - Monocultivo 4mx2m	-	0,31	0,79	3,50	6,27	15,40
Angico - SAF 4mx2m	-	2,52	5,98	23,85	36,18	58,09
Clone MA 2001 - Monocultivo 3mx2m	-	39,17	43,58	46,77	56,33	75,84
Clone MA 2001 - Monocultivo 4mx2m	-	3,54	3,91	3,64	5,76	9,86
Clone MA 2001 - SAF 4mx2m	-	10,70	24,42	33,60	50,40	81,72
Clone MA 2000 - Monocultivo 3mx2m	-	10,83	14,26	16,36	22,20	35,29
Clone MA 2000 - Monocultivo 4mx2m	-	10,50	15,60	16,61	20,32	33,52
Clone MA 2000 - SAF 4mx2m	-	14,21	25,70	32,04	39,51	59,61
<b>Índice de Equivalência de área (IEA)</b>						
IEA com Aroeira Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m	-	0,58	0,58	<b>1,31</b>	<b>1,26</b>	<b>1,38</b>
IEA com Aroeira Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m	-	-	-	<b>2,00</b>	<b>1,96</b>	<b>1,75</b>
IEA com Angico Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m	-	<b>1,04</b>	<b>1,40</b>	<b>2,22</b>	<b>2,04</b>	<b>1,64</b>
IEA com Angico Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m	-	<b>8,67</b>	<b>8,36</b>	<b>7,61</b>	<b>6,05</b>	<b>3,82</b>
IEA com Clone MA 2001 Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m	-	0,75	0,91	0,91	0,96	-
IEA com Clone MA 2001 Monocultivo 4mx2m e 2001 SAF 4mx2m	-	<b>3,50</b>	<b>6,60</b>	<b>9,42</b>	<b>8,81</b>	-
IEA com Clone MA 2000 Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m	-	<b>1,79</b>	<b>2,09</b>	<b>2,00</b>	-	-
IEA com Clone MA 2000 Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m	-	<b>1,83</b>	<b>1,94</b>	<b>1,97</b>	-	-

Fonte: O autor (2023)

Em ambos os casos, a contribuição relativa das espécies para os respectivos índices se deu com a espécie agrícola forrageira, com contribuição média de 88,30%, quando comparada ao monocultivo 3 m x 2 m, e de 61,51% na comparação ao monocultivo 4 m x 2 m (Tabela 39). Estes resultados se tornam irrefutáveis, visto que o desenvolvimento da Aroeira nas idades avaliadas, em função do aumento volumétricos, é relativamente baixo, devido as suas características naturais.



**Tabela 39:** Contribuição relativa do capim Tanzânia e das culturas florestais nos SAF (%) ao longo do tempo

Contribuição relativa das culturas nos SAF (%)	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	-	-	<b>84,73</b>	<b>88,88</b>	<b>91,30</b>
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal				15,27	11,12	8,70
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	-	-	<b>55,50</b>	<b>57,14</b>	<b>72,00</b>
Aroeira (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal				44,50	42,86	28,00
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	<b>51,92</b>	<b>56,43</b>	36,04	13,73	3,05
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		48,08	43,57	<b>63,96</b>	<b>86,27</b>	<b>96,95</b>
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	6,23	9,45	10,51	4,63	1,31
Angico (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>93,77</b>	<b>90,55</b>	<b>89,49</b>	<b>95,37</b>	<b>98,69</b>
MA 2001 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	-	-	-	-	-
MA 2001 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal						
MA 2001 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	13,71	5,30	2,02	0,68	-
MA 2001 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>86,29</b>	<b>94,70</b>	<b>97,98</b>	<b>99,32</b>	
MA 2000 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	26,82	13,88	2,00	-	-
MA 2000 (Monocultivo 3mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>73,18</b>	<b>86,12</b>	<b>98,00</b>		
MA 2000 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura agrícola	-	26,23	14,95	2,03	-	-
MA 2000 (Monocultivo 4mx2m e SAF 4mx2m) – Cultura florestal		<b>73,77</b>	<b>85,05</b>	<b>97,97</b>		

Em que: \*Os números em negritos destacam as maiores contribuições no IEA

Fonte: O autor (2023)

Com o Angico, verificou-se a eficiência do consórcio entre as espécies, em todos os períodos avaliados, quando comparados aos monocultivos (3 m x 2 m e 4 m x 2 m), com seus valores variando de 1,04, no segundo ano, a 1,64, no sexto ano, quando comparado ao monocultivo 3 m x 2 m, e de 8,67 a 3,82 ao comparar ao monocultivos 4 m x 2 m. No entanto, a contribuição relativa do capim Tanzânia consorciado só foi maior entre o segundo e terceiro ano de cultivo, na comparação com monocultivo 3 m x 2 m, tendo contribuição relativa média para o período de 54,18%, devido ao porte relativamente baixo do crescimento do Angico e da produtividade alta do capim Tanzânia nos anos iniciais do experimento. No restante do período, o cultivo florestal se sobressaiu em relação à forrageira, em média, com 82,39% na comparação ao monocultivo 3 m x 2 m, e 93,57% quando comparado ao monocultivo 4 m x 2 m.

Analisando os clones consorciados com o capim Tanzânia, observa-se a eficácia dos consórcios (IEA), em quase todos os períodos analisados, com exceção da comparação com o monocultivo 3 m x 2 m para o clone MA 2001, que apresentou, no período de dois a cinco anos, IEA médio de 0,88, favorecendo seu cultivo isolado (Tabela 38).

Já na associação com o monocultivo 4 m x 2 m, obtiveram-se os maiores valores de IEA, fato esse devido à redução da produtividade volumétrica ocorrida nesse sistema de monocultivo, a qual teve seus valores variando de 3,54 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>, no segundo ano, a 5,76 m<sup>3</sup>/há<sup>-1</sup>, no quinto ano, em discrepância com valores obtidos no

consócio com o capim Tanzânia, com valores de 10,70 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a 50,40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, no mesmo período.

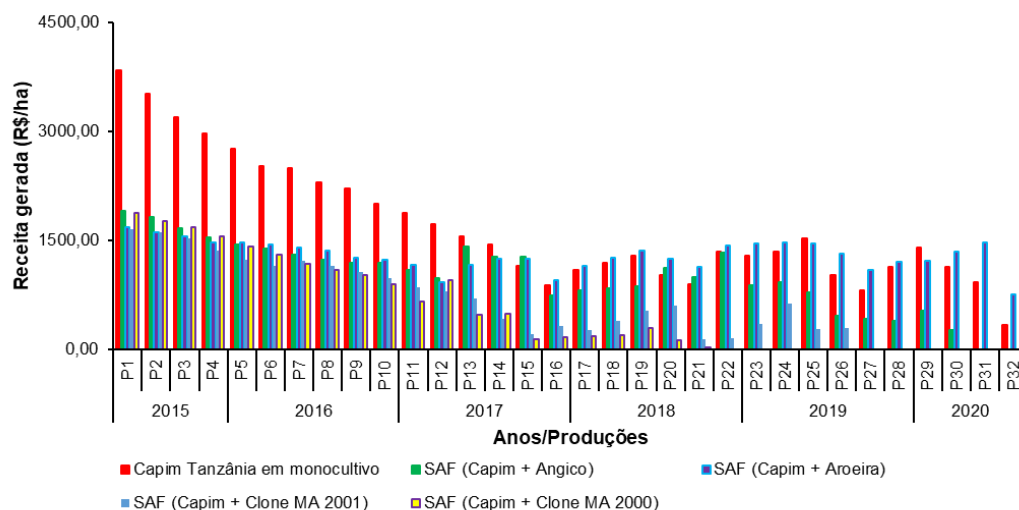
Com o Clone MA 2000, o IEA médio obtido na associação com o monocultivo 3 m x 2 m ficou em 1,96, no período de dois a quatro anos, equivalente à contribuição média relativa da cultura florestal em, aproximadamente, 85,77%. Já na comparação com o monocultivo 4 m x 2 m, o IEA médio alcançado, para o mesmo período, ficou em 1,91, indicando que, para se ter a mesma produtividade de um hectare de consócio do capim Tanzânia e da madeira de clone de eucalipto, necessitaria de 1,64 ha de área florestal em monocultivo do clone MA 2000 e 0,27 ha de monocultivo de capim Tanzânia.

Os altos índices de equivalência de área encontrados nesta pesquisa para as espécies florestais induzem que os sistemas analisados perpetuam de uma facilitação interespecífica entre as espécies consorciadas, ou seja, quando uma espécie modifica positivamente o ambiente da outra, favorecendo a produtividade das espécies de interesse do consócio (Pagano *et al.*, 2008).

Tendo os clones de eucaliptos contribuição média superior a 70%, em função do capim Tanzânia, fica evidente essa prevalência dos clones de eucaliptos no consócio, devido, principalmente, as suas características intrínsecas de rápido crescimento e do seu maior ganho volumétricos em detrimento da baixa produtividade da forrageira, consorciados entre si ao longo dos anos de cultivo, tendo em vista que o real propósito do consócio é a geração de biomassa arbórea.

#### 5.10 – Análise financeira da produção do capim Tanzânia nos diferentes sistemas de cultivo

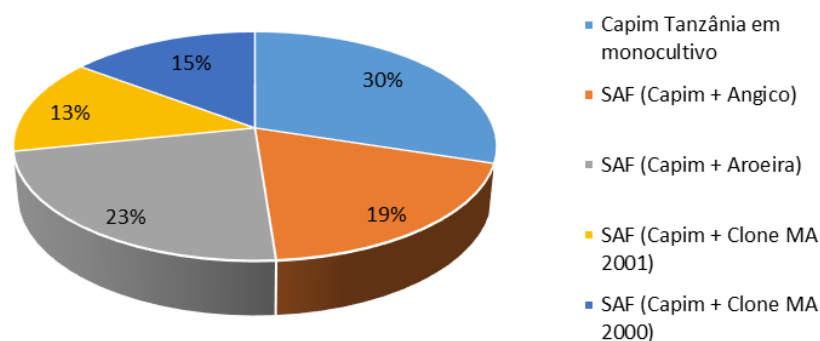
Considerando a distribuição das receitas com a comercialização do capim Tanzânia ao longo do tempo (R\$/t<sup>1</sup>/ha<sup>-1</sup>), nos diferentes tipos de sistemas de cultivo, levando-se em conta a sazonalidade do preço de venda do capim verde após o corte, tendo seu valor médio regional de venda praticado de R\$ 0,4.kg<sup>-1</sup> ou R\$ 400,00.t<sup>-1</sup>, observa-se que o monocultivo da forrageira gerou os maiores ganhos ao longo das 32 safras (Figura 37).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 37:** Receitas obtidas com a venda do capim Tanzânia ( $\text{R}\$/\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) produzido nos diferentes sistemas de cultivo.

A rentabilidade média obtida foi de  $\text{R}\$ 1695,00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  por safra, correspondente a 30% de toda a receita gerada nos sistemas (Figura 38).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 38:** Distribuição média das receitas ( $\text{R}\$/\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) geradas pela venda do Capim Tanzânia nos diferentes sistemas de cultivos.

No entanto, percebe-se uma queda vertiginosa das receitas geradas no monocultivo, nas primeiras safras até o final do ano de 2017, afetando, de forma direta, a produtividade do capim isolado. Após esse período, ocorreu uma estabilização das receitas do monocultivo, reduzindo, de forma gradativa, os seus ganhos nas últimas safras de cultivo.

Em relação às receitas obtidas nos SAF, percebe-se que o capim consorciado entre as linhas da Aroeira foi o que se manteve com mais equilíbrio em relação aos ganhos gerados pela venda do capim ao longo do tempo, permanecendo sua colheita até a última safra com receita média gerada de R\$ 1300,13 t.ha<sup>-1</sup> por safra. Esta forma de cultivo consorciado com a espécie florestal nativa da Aroeira gerou a segunda melhor posição das receitas obtidas, correspondendo a 23% dos ganhos totais.

Já no consórcio com o Angico, o cultivo do capim se sucedeu até a trigésima safra (P30), obtendo-se receita média de R\$ 1.072,00 t.ha<sup>-1</sup> por safra, correspondendo a 19% das receitas totais.

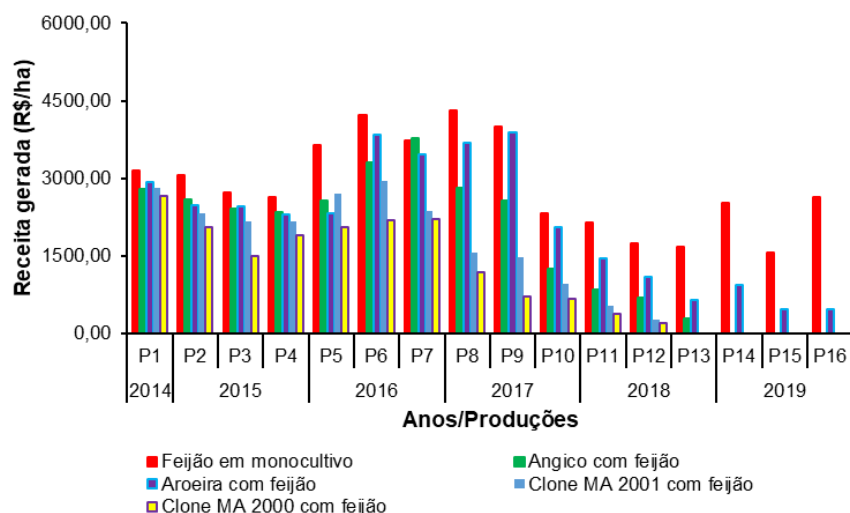
Já com a forrageira consorciada entre as linhas de cultivo dos clones de eucaliptos, percebem-se as menores receitas obtidas no experimento ao longo do tempo, tendo, para o clone MA 2000 na vigésima primeira safra (P21), receita média gerada de R\$ 835,24 t.ha<sup>-1</sup> por safra, representando 15% das receitas totais.

Já com o clone MA 2001, tendo a colheita do capim se mantido até a vigésima sexta safra (P26), obteve-se receita média de R\$ 766,77 t.ha<sup>-1</sup> por safra, correspondendo ao menor percentual das receitas geradas, com valor de 13% do total (Figura 43).

Silva *et al.* (2021), avaliando diferentes sistemas de produção com o Capim-Marandu, em função da sua análise financeira, concluíram que, em cenários economicamente otimistas, o sistema único de cultivo da forrageira tende a proporcionar os melhores resultados econômicos. No entanto, é importante salientar, no que tange ao sucesso de um investimento agrícola, que é a sua diversificação de receitas, mediante a todos os possíveis produtos gerados nos diferentes sistemas de cultivo, como exemplo, o do SAF, que, mesmo obtendo possíveis reduções da produtividade da forrageira em consórcio, existe o valor agregado da madeira para potencializar os ganhos finais do sistema.

#### 5.11 – Análise financeira da produção do feijão-caupi nos diferentes sistemas de cultivo

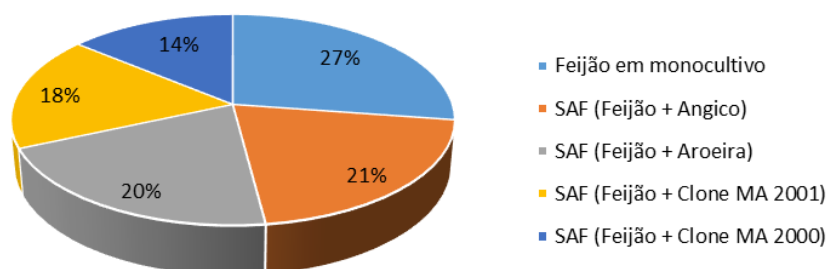
A distribuição das receitas geradas pela venda do feijão-caupi ao longo de suas 16 safras, entre os anos de 2014 a 2019, é mostrada na Figura 39.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 39:** Receitas obtidas com a venda do feijão-caupi ( $\text{R}\$. \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) produzido nos diferentes sistemas de cultivo.

Percebe-se, que as maiores receitas obtidas foram provenientes do cultivo isolado, tendo sua receita, considerando todas as dezesseis safras, média de  $\text{R}\$ 2877,33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  por safra, representando 27% de todas as receitas geradas nas diferentes formas de cultivo (Figura 40).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 40:** Distribuição média das receitas ( $\text{R}\$. \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) geradas pela venda do feijão-caupi nos diferentes sistemas de cultivo.

Entre os cultivos consorciados, o feijão produzido entre as linhas do Angico proporcionou a segunda maior média entre as receitas geradas, com valor médio de

R\$ 2.169,68 kg.ha<sup>-1</sup>/safra, sendo representado por 21% de todas as receitas, encerrando seu cultivo na safra (P13).

Já com a Aroeira, o cultivo do feijão permaneceu em todas as 16 safras, obtendo-se receita média de R\$ 2.152,07 ha<sup>-1</sup>/safra, com 20% de representatividade na distribuição das receitas.

Entre os clones de eucaliptos, as receitas geradas foram menores, quando comparadas aos demais consórcios, tendo, para o clone MA 2001, receita média de R\$ 1.854,39 ha<sup>-1</sup> por safra e, para o clone MA 2000, valor médio de R\$ 1.472,84 ha<sup>-1</sup> por safra.

## 5.12 - Análise econômica dos sistemas agroflorestais e seus monocultivos

### 5.12.1 - Sistema em monocultivo 3 m x 2 m

A composição dos custos e rendimentos referentes às fases de implantação, manutenção e produção dos recursos provenientes do sistema agroflorestal, consorciados com as culturas agrícolas e seus respectivo monocultivos, foi estabelecida considerando as especificações de cada cultivo e associação com os seus respectivos valores regionais (Tabela 40).

**Tabela 40:** Fluxo de caixa das espécies arbóreas, implementadas em monocultivo 3 m x 2 m, considerando-se a venda da madeira em pé das árvores aos oito anos

Clone MA 2001 em monocultivo 3 m x 2 m						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1050,00		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-3906,53
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		16101,98	16101,98
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>4756,53</b>		<b>11345,45</b>

Tabela 40: Continuação

Clone MA 2000 em monocultivo 3 m x 2 m						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
Implantação	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1050,00		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-3906,53
Manutenção	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
Produção	Produção de lenha em pé Clones MA 2000	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		8341,53	8341,54
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>4756,53</b>		<b>3585,01</b>
Angico em monocultivo 3 m x 2 m						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
Implantação	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	4357,50		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-7214,03
Manutenção	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
Produção	Produção de lenha em pé nativa Angico	8	M <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		3867,17	3867,17
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>8064,03</b>		<b>-4196,86</b>
Aroeira em monocultivo 3 m x 2 m						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
Implantação	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	4357,50		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	Há	336,93		-7214,03
Manutenção	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00

**Tabela 40:** Continuação

<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé nativa Aroeira	8	M <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		1184,92	1184,92
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>8064,03</b>		<b>-6879,11</b>

Fonte: O autor (2023)

Avaliando o monocultivo florestal no espaçamento de 3 m x 2 m, na fase de implantação, referente ao ano 0, na qual estão inclusas todas as atividades alusivas ao estabelecimento do povoamento florestal, o seu custo total foi de R\$ 3.906,53 ha<sup>-1</sup> para cada clone de eucalipto e custo total de R\$ 7.214,03 para cada espécie nativa, correspondendo à aquisição de mudas para 1 ha, com margem adicional de compra de 5%, considerando possíveis mortalidades no povoamento. Esses valores se basearam na estimativa de valor unitário de mudas para os clones de eucaliptos de R\$ 0,60/muda e R\$ 2,49/muda para as espécies nativas. O arrendamento para o cultivo florestal e agroflorestal, para os oito anos de produção, foi baseado na porcentagem do valor da terra nua da região em função taxa de atratividade do projeto, sendo o valor regional de R\$ 3.674,3 ha<sup>-1</sup> (BRASIL, 2020) e taxa de atratividade aplicada de 9,17% a.a.

Estes valores obtidos na fase de implantação dos sistemas de cultivo florestal ficaram acima dos encontrados por Cordeiro *et al.* (2018), com valor de R\$ 2.500 ha<sup>-1</sup>, considerando um plantio convencional de eucalipto no espaçamento 3 m x 3 m, e dos encontrados por Weimann *et al.* (2017), com valor de R\$ 1.427,06 ha<sup>-1</sup>, utilizando-se do plantio de eucalipto com 1,75 m x 5,0 m no arranjo entre plantas. Isto induz a concluir que a composição dos valores depende diretamente da cotação atual dos insumos utilizados, do valor pago da mão de obra local, do custo unitário de cada muda para compor o sistema e, principalmente, do valor agregado atribuído à terra nua, a qual tem seu valor diferenciado para cada região específica do País, com seu respectivo uso, podendo comprometer toda a rentabilidade do projeto, visto que os custo de implantação são os maiores dispêndios de um investimento florestal (BERGER *et al.*, 2011)

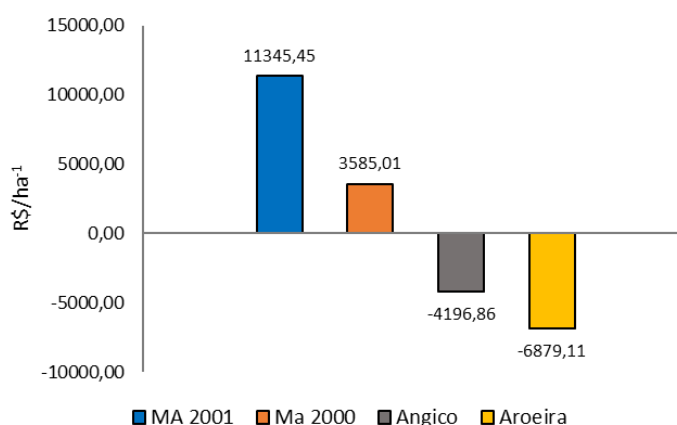
A manutenção do monocultivos, referentes às atividades de limpeza e poda das árvores, ocorreu ao longo dos sete anos de crescimento florestal, ao custo final de R\$ 850,00 ha<sup>-1</sup>.



Já na fase de produção, foi considerado o valor de venda da madeira em pé de cada espécie arbórea, tendo em vista o valor regional do m<sup>3</sup> em pé do eucalipto de R\$100,00 e das espécies nativas, Angico e Aroeira, ao valor de R\$ 57,00.

O valor médio da receita obtida para o clone MA 2001, considerando sua produção volumétrica, foi de R\$ 16.101,98 ha<sup>-1</sup>, com saldo final positivo de R\$ 11.345,45 ha<sup>-1</sup>. Já para o clone MA 2000, a receita obtida foi de R\$ 8.341,53 ha<sup>-1</sup>, com saldo final foi de R\$ 3.585,01 ha<sup>-1</sup>, visto que a produção volumétrica para esse clone, aos oito anos, foi 48,19% menor que o clone MA 2001, influenciando diretamente no seu preço final.

Já com as árvores nativas, considerando o menor valor de venda da madeira em pé, a rentabilidade obtida para o Angico foi de R\$ 3.867,17 ha<sup>-1</sup>. No entanto, esse valor, considerando a idade de oito anos, não cobriu todos os custos de implantação e manutenção da espécie no projeto, resultando em saldo final negativo de R\$ 4.196,86 ha<sup>-1</sup>, para uma produção volumétrica estimada de 67,85 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>. Este comportamento foi inferior para a Aroeira, devido ao seu porte reduzido e desenvolvimento lento, obtendo-se, para essa espécie, receita de R\$ 1.184,92 ha<sup>-1</sup>, refletindo no saldo negativo de R\$ 6.879,11 ha<sup>-1</sup>, para uma produtividade de 20,79 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup> (figura 41).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 41:** Distribuição do saldo final médio (R\$.ha<sup>-1</sup>) do sistema florestal em monocultivo (3 m x 2 m).

Refletindo todos os fluxos de caixa obtidos no monocultivo 3 m x 2 m para a avaliação do projeto, percebe-se que se trata de um investimento convencional, com

uma única mudança de sinal, durante todo seu ciclo produtivo, onde se teve, para todas as espécies florestais, custo de dispêndio na implantação e manutenção e uma receita positiva final na produção. A partir desses fluxos gerados ao longo dos oito anos do projeto, corrigidos pela taxa de desconto/atratividade de 9,17% a.a, foram obtidos os indicadores econômicos para avaliação final do empreendimento florestal (Tabela 41).

**Tabela 41:** Indicadores econômicos das espécies arbóreas em monocultivo 3 m x 2 m aos 8 anos

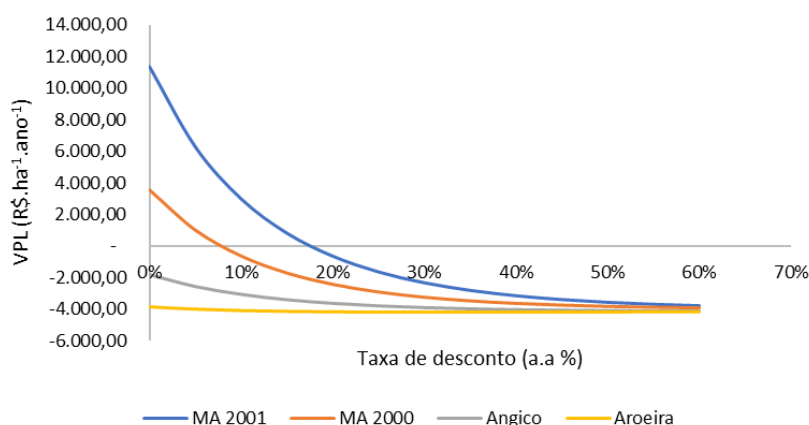
Métodos	Espécies arbóreas em monocultivo 3 mx2 m			
	Clone MA 2001	Clone MA 2000	Angico	Aroeira
VPL (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	3.447,76	-398,68	-5.923,90	-7.253,35
TIR (% a.a)	17,60%	7,84%	-9%	-23%
B/C	1,88	0,90	0,18	-0,01
VAE (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	626,86	-72,49	-1.077,07	-1.318,79
VET (R\$.ha <sup>-1</sup> )	10.510,33	2.883,81	- 8.071,26	-10.707,22

Fonte: O autor (2023)

Quando observados os parâmetros econômicos, verificou-se que o VPL para o Clone MA 2001 apresentou um ganho real positivo de R\$ 3.447,76 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, gerando uma valorização de todo o capital investido no ano 0, tornando-se viável o monocultivo para esse clone. Seu VAE, correspondente ao valor anualizado corrigido do VPL, foi de R\$ 626,86 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo positivo para todo o horizonte do investimento. Esse comportamento positivo foi acompanhado do valor do TIR de 17,60%, acima da taxa de atratividade aplicada ao projeto, indicando uma margem de segurança e confiabilidade do investimento para esse respectivo clone. Essa segurança ocorre uma vez que o parâmetro econômico (TIR) tem como sua função principal mostrar qual é o limite máximo aceitável da utilização da taxa de juros, para que um determinado projeto de investimento passe a ser considerado inviável economicamente (REZENDE; OLIVEIRA, 2008).

O valor do custo/benefício para o clone MA 2001 foi de R\$ 1,88 para cada R\$ 1,00 aplicado, gerando um ganho significativo em suas receitas. Já o VET obtido de R\$ 10.510,33 indica o limite máximo que se pode pagar no valor da terra nua, para que o projeto seja considerado viável, estimação essa que ficou bem acima do valor real da terra praticado na região da pesquisa, viabilizando, positivamente, o

investimento. Tendo observado todos os resultados dos parâmetros obtidos para o clone MA 2001, pode-se afirmar que o seu monocultivo, no espaçamento 3 m x 2 m, é aceitável economicamente para a produção de madeira em pé, com margem de garantia elevada no retorno do investimento. Isto é perceptível quando observado o gráfico de sensibilidade do VPL em função da taxa de atratividade aplicada (Figura 42).



Fonte: O autor (2023)

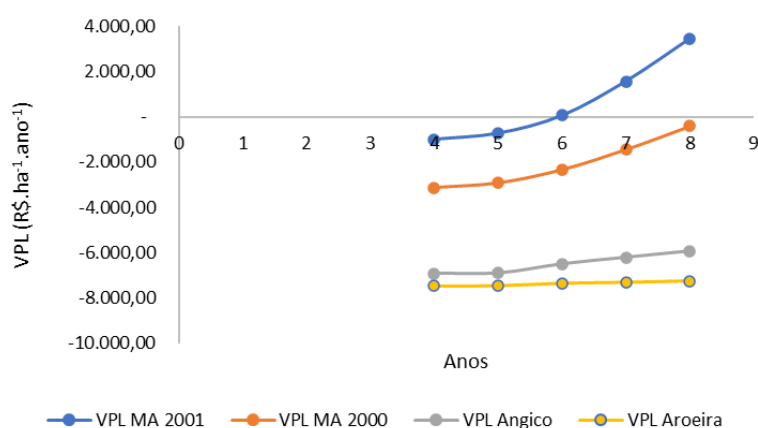
**Figura 42:** Análise de sensibilidade do VPL em função da variação da taxa de desconto nas espécies florestais em monocultivo 3 m x 2 m, aos oito anos.

Já com o clone MA 2000, mesmo obtendo saldo positivo aos oito anos, com o valor corrigido para o momento atual, juntamente com todos os fluxos de caixa anteriores, esse valor não remunera todo o capital investido no ano 0, resultando, assim, em um VPL negativo R\$ -398,68 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, tornando-se inviável o projeto com esse respectivo clone no monocultivo 3 m x 2 m. Essa inviabilidade foi acompanhada dos outros parâmetros econômicos, tendo o VAE negativo de R\$ -72,49 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, B/C de R\$0,90 para cada real investido, VET de R\$ 2.883,80, valor menor ao preço da terra nua aceitável na pesquisa e TIR máximo de 7,84%, valor esse abaixo da taxa de atratividade utilizada no projeto, inviabilizando todo o investimento, aos oito anos, em função da sua pequena margem de segurança econômica para este clone, dada a sua sensibilidade a mudanças na taxa de desconto (Figura 42).

Esta inviabilidade observada para o clone MA 2000 foi mais acentuada nas espécies nativas para esta forma de cultivo. Em todos os parâmetros econômicos avaliados para o Angico e a Aroeira, a indicação de inviabilidade do projeto das duas espécies nativas aos oito anos foi potencializada, indicando que essas espécies não atingiram desenvolvimento suficiente para remunerar todo o capital investido ao longo

do tempo, em função das suas características genótípicas e fenotípicas, comuns em espécies nativas de ambientes semiáridos (CARVALHO, 2003).

Esta afirmação se torna mais evidente quando observado o gráfico de sensibilidade do VPL em função da idade do plantio, onde se observa o comportamento da linha de crescimento do VPL bem abaixo do limite mínimo de viabilidade econômica, indicando, deste modo, prejuízo financeiro caso a venda da madeira ocorra neste período específico (Figura 43).

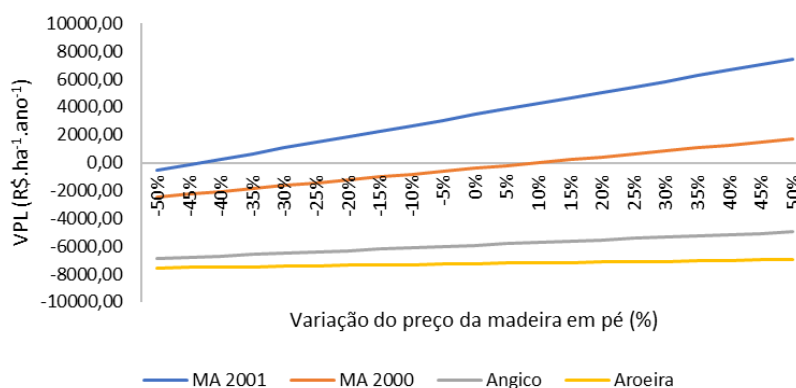


Fonte: O autor (2023)

**Figura 43:** Análise de sensibilidade do VPL em função da idade do povoamento nas espécies florestais em monocultivo 3 m x 2 m.

Nesta análise gráfica, para a sensibilidade em função da idade do plantio, percebe-se que o clone de eucalipto MA 2000 apresentou tendência de crescimento próximo da viabilidade econômica em função do seu VPL, indicando que a venda da madeira só deve ocorrer após o período dos oito anos. Já com o Clone MA 2001, a curva de sensibilidade do VPL indica que, a partir dos seis anos, o cultivo já apresentava tendência de viabilidade econômica, com crescimento em ascendência ao longo dos anos subsequentes.

Quando observado o gráfico de sensibilidade do VPL, em função do preço de venda da madeira em pé aos oito anos, verifica-se que os projetos com os clones de eucaliptos em monocultivo 3 m x 2 m são os que mais apresentam influências nas alterações dos seus respectivos VPL's, em função das oscilações nos aumentos ou reduções nos preços da madeira comercializada em pé na região de Itaparica (Figura 44).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 44:** Sensibilidade do VPL em função da variação do preço da madeira em pé (%) no Monocultivo 3 m x 2 m aos oito anos.

Em um cenário bastante pessimista, o clone MA 2001 suportaria uma queda de preço de até 40% em relação ao preço atual de venda da madeira, sem inviabilizar o projeto, com VPL de R\$ 255,40 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> neste respectivo cenário. Já o Clone MA 2000 só viabilizaria o investimento inicial se, no cenário real, o preço da venda da madeira em pé do eucalipto oscilasse positivamente acima de 10% em relação ao preço estabelecido inicialmente no projeto.

Furtado *et al.* (2022), analisando futuros cenários econômicos na venda de madeira de eucaliptos em monocultivo aos cinco anos de idade, em função do seu VPL, observaram que oscilações acima de 30% do valor comercializado da madeira, em um cenário bastante otimista, aumentaria o valor do VPL em mais de 141%, indicando uma margem segura de risco neste investimento florestal.

Para as espécies nativas, mesmo considerando um cenário otimista de aumento de mais de 50% no valor atual da venda da madeira em pé, não ocorreria viabilidade econômica do projeto, visto o baixo incremento volumétricos de ambas as espécies, na respectiva idade de oito anos.

#### 5.12.2 - Sistema em monocultivo 4 m x 2 m

Considerando o monocultivo 4 m x 2 m e seus respectivos fluxos de caixa das espécies arbóreas aos oito anos, observa-se que os custos de implantação foram reduzidos, quando comparados ao do monocultivo 3 m x 2 m, fato esse devido ao menor número de mudas por hectare (Tabela 42).

**Tabela 42:** Fluxo de caixa das espécies arbóreas, implementadas em monocultivo 4 m x 2 m, considerando-se a venda da madeira em pé das árvores aos 102 meses

<b>Clone MA 2001 em monocultivo 4 mx2 m</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-3644,33
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		2697,57	2697,57
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>4494,33</b>		<b>-1796,77</b>
<b>Clone MA 2000 em monocultivo 4 mx2 m</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-3644,33
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2000	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		9220,09	9220,09
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>4494,33</b>		<b>4725,75</b>
<b>Angico em monocultivo 4 mx2 m</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-6125,90
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00

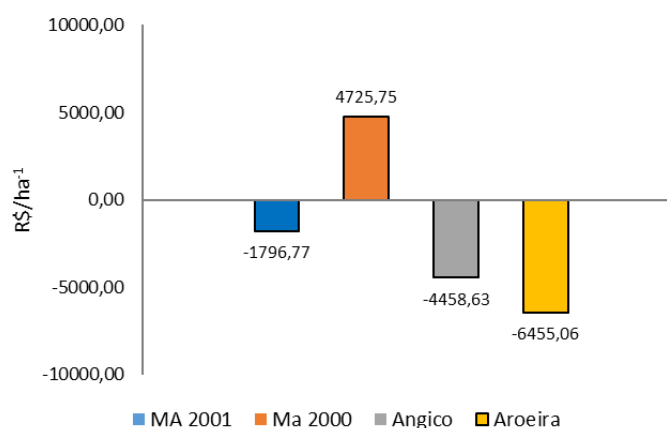
**Tabela 42: Continuação**

	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé nativa Angico	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		2517,28	2517,28
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>6975,90</b>		<b>-4458,63</b>
<b>Aroeira em monocultivo 4 mx2 m</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		-6125,90
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		-150,00
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé nativa Aroeira	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		520,84	520,84
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>6975,90</b>		<b>-6455,06</b>

Fonte: O autor (2023)

Para os clones MA 2001 e 2000, o custo de implantação do povoamento, no respectivo ano 0, foi de R\$ 3.644,33 ha<sup>-1</sup>, redução de 6,71% quando comparado aos clones do monocultivo no espaçamento 3 m x 2 m.

Para as espécies nativas, o custo de implantação do povoamento foi de R\$ 6.125,90. Na fase de manutenção do povoamento, os custos foram similares ao obtidos no monocultivo 3 m x 2 m para todas as espécies, com valor de R\$ 850,00 ha<sup>-1</sup>. Quando considerada a fase de produção, verifica-se que o clone MA 2001, com sua mortalidade acima dos 81% e produção volumétrica obtida na respectiva idade de 26,98 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>, influenciou na receita obtida na venda estimada da madeira em pé, obtendo-se o valor comercializado de R\$ 2.697,57 ha<sup>-1</sup>, resultando no saldo negativo, ao final do período de cultivo, de R\$ -1.796,77 ha<sup>-1</sup>. Diferentemente do clone MA 2000, que, mesmo com redução de produtividade volumétrica devido aos problemas já relatados na respectiva área, obteve-se com a estimação da venda da madeira em pé, valor médio de R\$ 9.220,09 ha<sup>-1</sup>, possibilitando, assim, a obtenção de saldo final positivo de R\$ 4.725,75 ha<sup>-1</sup> (Figura 45).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 45:** Distribuição do saldo final médio (R\$/ha<sup>-1</sup>) no monocultivo 4 m x 2 m.

Com as espécies nativas, em função das receitas estimadas de R\$ 2.517,28 ha<sup>-1</sup> para o Angico e R\$ 520,84 ha<sup>-1</sup> para a Aroeira, a receita não superou os custos iniciais de implantação do cultivo florestal neste espaçamento, gerando saldo negativo nas duas espécies quando considerada a possibilidade de venda da madeira em pé.

Tais fatos mencionados inviabilizaram economicamente as duas espécies nativas e o clone MA 2001, quando considerados todos os parâmetros econômicos que se mostraram negativos em todas as análises (Tabela 43).

**Tabela 43:** Indicadores econômicos das espécies arbóreas em monocultivo 4 m x 2 m, aos 102 meses de idade

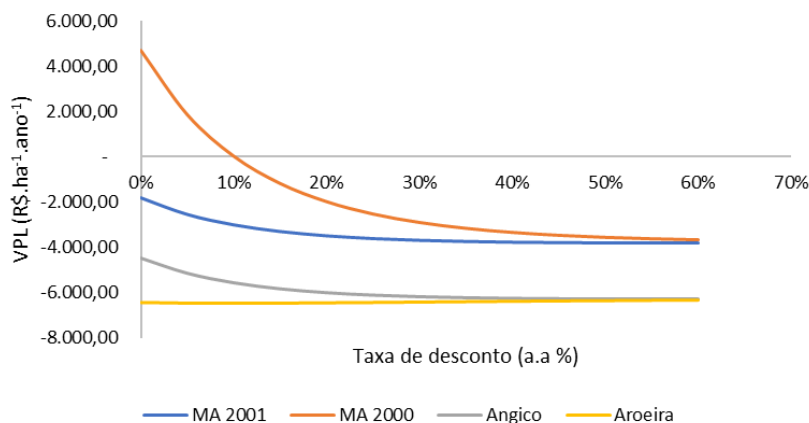
Métodos	Espécies arbóreas em monocultivo (4 mx2 m)			
	Clone MA 2001	Clone MA 2000	Angico	Aroeira
VPL (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	-2.933,91	298,97	-5.504,84	-6.494,37
TIR (% a.a)	-6,84%	10,16%	-13%	-31,37%
B/C	0,19	1,08	0,10	-0,06
VAE (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	-533,44	54,36	-1.000,88	-1.180,79
VET (R\$.ha <sup>-1</sup> )	-2.142,89	4.267,07	-7.240,38	-9.202,36

Fonte: O autor (2023)

Somente o clone MA 2000 se apresentou viável economicamente em seu projeto de investimento, aos oito anos, refletindo em seu VPL positivo de R\$ 298,97 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, VAE de R\$ 54,36 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, B/C de 1,08, VET de R\$ 4.267,07 e TIR de 10,16%, aproximando-se do limite mínimo da taxa de atratividade do projeto.



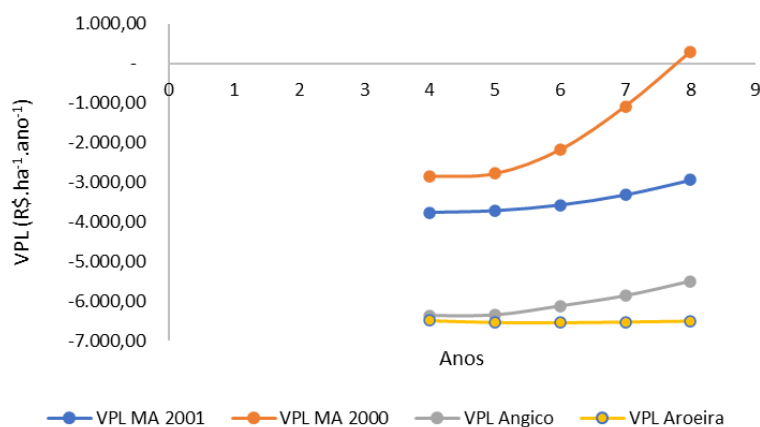
Esse comportamento das espécies florestais, neste respectivo monocultivo, refletiu nos gráficos de sensibilidade do VPL. Observa-se que o clone MA 2000 foi o mais sensível à mudança no intervalo inicial da taxa de atratividade, reduzindo seu VPL do projeto à medida que a taxa se afasta de 0, chegando ao limite máximo de viabilidade econômica aos 10,16%, quando o projeto se torna inviável (Figura 46).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 46:** Análise de sensibilidade do VPL em função da variação da taxa de desconto nas espécies florestais em monocultivo 4 m x 2 m aos oito anos.

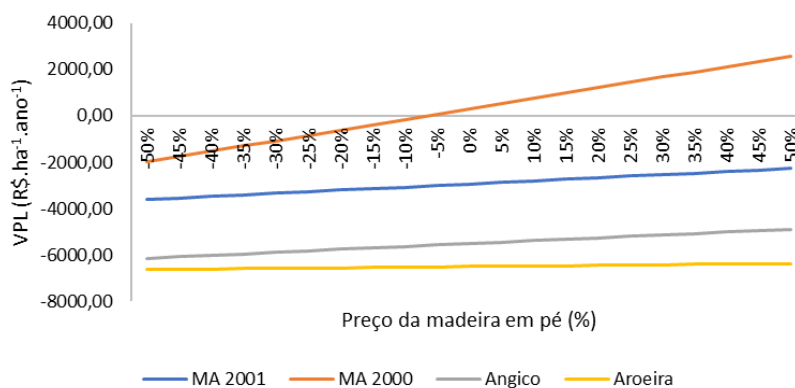
Já no gráfico de sensibilidade do VPL em função da idade do povoamento, somente o clone MA 2000 apresentou tendência de alta no seu valor presente líquido, a partir dos oito anos de cultivo. Para as espécies nativas e clones, é economicamente inviável a sua exploração comercial nesta respectiva idade e com poucas mudanças no aumento significativo do VPL em oscilação futura, em função do tempo (Figura 47).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 47:** Análise de sensibilidade do VPL em função da idade do povoamento nas espécies florestais em monocultivo 4 m x 2 m.

Já quando é observado o gráfico da sensibilidade do VPL em função do preço de venda da madeira em pé, percebe-se que o clone MA 2000, como o único projeto viável neste respectivo monocultivo, em um cenário pessimista de redução do preço da madeira em pé, em menos de 10%, já inviabilizaria o investimento florestal (Figura 48).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 48:** Sensibilidade do VPL em função da variação do preço da madeira em pé (%) no monocultivo 4 m x 2 m aos oito anos.

Isto significa que, no monocultivo 4 m x 2 m com o clone MA 2000, o risco de prejuízo no projeto, em função das oscilações do preço da venda da madeira, é considerado alto, devido aos problemas já relatados nesta forma de cultivo. Com as demais espécies, em nenhum cenário otimista calculado aos oito anos, ocorreria viabilidade do projeto.

### 5.12.3 - Sistema agroflorestal com o feijão-caupi em espaçamento 4 m x 2 m

Analisando o sistema agroflorestal com as espécies arbóreas consorciadas com o feijão-caupi e seus respectivos fluxos de caixas não convencionais, tendo considerado a periodicidade da variação do preço de venda do feijão na região e dos demais atributos embutidos na manutenção e colheita das vargens, pode-se perceber que, na fase de implantação do sistema agroflorestal, no ano 0, o saldo inicial negativo foi diluído com as receitas geradas pela venda do feijão-caupi, sendo essa redução, quando comparada ao monocultivo 3 m x 2 m, de 46,48% no consórcio com o clone MA 2001, de 42,73% com o clone MA 2000, de 36,31% com o Angico e de 38,22% com a consorciação com a Aroeira. Já quando comparada com o monocultivo 4 m x 2

m, a redução para os clones consorciados foi de 42,63% para o MA 2001, de 38,61% para o MA 2000, de 25% para o Angico e de 27,25% para Aroeira (Tabela 44).

**Tabela 44:** Fluxo de caixa das espécies arbóreas consorciadas com o feijão-caupi, considerando a venda da madeira em pé das árvores e do feijão-caupi, no sistema agroflorestal 4 m x 2 m

<b>Clone MA 2001 (4 mx2 m) em SAF com Feijão-caupi</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do feijão Caupi	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1255,64	2809,161	-2090,81
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	1330,59	2212,97	732,38
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	1469,96	2669,28	1049,32
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	1530,41	1330,38	-350,03
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do feijão Caupi	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	1525,76	402,79	-1222,97
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00	
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		10189,24	10189,24
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>11606,69</b>		<b>8007,13</b>
<b>Clone MA 2000 (4 mx2 m) em SAF com feijão-caupi</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do feijão Caupi	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1255,64	2662,82	-2237,15
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	1330,59	1813,72	333,13
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	1469,96	2146,35	526,39
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	1530,41	858,07	-822,34
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do feijão Caupi	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	1525,76	278,41	-1347,35
Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00	

Tabela 44: Continuação

	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		7910,27	7910,27
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>11606,69</b>		<b>4062,95</b>
<b>Angico (4 mx2 m) em SAF com feijão-caupi</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do feijão Caupi	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1255,64	2787,02	-4594,52
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	1330,59	2447,46	966,87
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	1469,96	3215	1595,04
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	1530,41	2206,88	526,47
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do feijão Caupi	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	1525,76	603,61	-1022,15
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		3550,29	3550,29
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>14088,26</b>		<b>721,99</b>
<b>Aroeira (4 mx2 m) em SAF com feijão-caupi</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do feijão Caupi	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	1255,64	2924,91	-4456,63
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	1330,59	2411,24	930,65
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	1469,96	3204,11	1584,15
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do feijão Caupi	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	1530,41	3204,56	1524,15
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do feijão Caupi	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	1525,76	1060,11	-565,65
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do feijão Caupi	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	1601,77	622,71	-1079,06
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00	

**Tabela 44:** Continuação

<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		1000,18	1000,18
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>15690,03</b>		<b>-1262,21</b>

Fonte: O autor (2023)

Esta diminuição do saldo negativo no ano 0, na implantação do sistema de SAF, pela geração de receita líquida obtida pela venda do feijão, é extremamente importante para a aceitação do sistema agroflorestal pelos pequenos produtores rurais, visto que as despesas iniciais para implementação do povoamento florestal são muito elevadas e, quando se tem essas possibilidades de amenização dos custos iniciais por meio da geração de receita alternativas dentro do próprio sistema, o mesmo proporciona segurança financeira ao investidor.

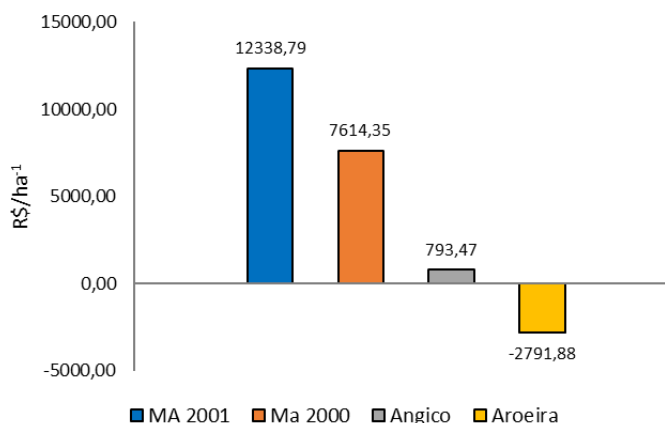
Diante dos fatos mencionados, Garcia *et al.* (2021) reforçam que, para atrair mais o pequeno produtor rural para o sistema SAF, nos primeiros meses iniciais do projeto, deve-se implementar alternadamente dentro do sistema outras diferentes culturas de ciclo curto, de modo temporário, como hortaliças e cucurbitáceas de forte apelo regional local, a fim de potencializar os ganhos iniciais e promover a segurança alimentar do agricultor.

Na consorciação com os clones de eucaliptos, o ápice de receita gerada pela produção do feijão no consórcio com o clone MA 2001 ocorreu até o segundo ano da fase de manutenção do sistema, com saldo positivo acumulado, para essa fase em específico, de R\$ 1.781,70 ha<sup>-1</sup>, e de R\$ 859,52 ha<sup>-1</sup> para o clone MA 2000. Com as nativas, devido ao baixo sombreamento inicial das árvores, a geração de saldo positivo se manteve até o terceiro ano de produção, com saldo de R\$ 3.088,38 para o consórcio com o Angico e de R\$ 4.038,95 para a Aroeira, que, por ter seu porte reduzido, proporcionou para o feijão um ambiente mais favorável para o seu cultivo por mais tempo, aumentando, assim, sua produtividade.

A partir do terceiro ano de consórcio com os clones de eucaliptos, iniciou-se uma redução gradativa da produção do feijoeiro, negativando o saldo parcial do sistema, tendo finalizado o seu cultivo agrícola no quarto ano, tanto para os dois clones quanto para o Angico. Já com a Aroeira, o cultivo se manteve até o quinto ano, porém, já apresentando saldo negativo de R\$ -1.644,71 ha<sup>-1</sup>, entre o quarto e quinto ano, em função da redução da produção do feijão consorciado.

Aos oito anos de projeto, considerando a estimativa da venda da madeira em pé da floresta em cada cultivo, obteve-se para o clone MA 2001 consorciado com o feijão-caupi valor estimado de venda da madeira de R\$ 10.189,24 ha<sup>-1</sup>, resultando um saldo médio final positivo de R\$ 8.007,13. Este valor foi 29,42% menor que a renda obtida pelo monocultivo 3 m x 2 m, devido, principalmente, à produtividade volumétrica reduzida obtida neste consórcio, de 101,89 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, quando comparado ao monocultivo 3 m x 2 m, com produtividade de 161,02 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Com o Clone MA 2000, a receita estimada na venda da madeira em pé foi de R\$ 7.910,27 ha<sup>-1</sup>, com saldo final de R\$ 4.062,95 ha<sup>-1</sup>, sendo este valor final maior que o do monocultivo 3 m x 2 m em 11,76%, porém, menor que o monocultivo de mesmo espaçamento 4 m x 2 m em -14,03%. Já com as espécies nativas, a venda estimada da madeira em pé aos oito anos rendeu um valor menor, de R\$ 3.550,28 ha<sup>-1</sup> para o Angico e R\$1.000,18 ha<sup>-1</sup> para Aroeira, resultando em saldos finais médios de R\$ 721,99 ha<sup>-1</sup> e R\$ -1.262,21 ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 49).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 49:** Distribuição do saldo final médio (R\$.ha<sup>-1</sup>) do sistema agroflorestal com feijão-caupi.

De um modo geral, o cultivo do feijão consorciado com as espécies arbóreas teve papel relevante na rentabilidade de todo o projeto, quando comparado aos seus respectivos monocultivos, possibilitando, dessa forma, uma geração de renda extra alternativa nos anos em que o produtor só teria dispêndios com a fase de manutenção do povoamento florestal.

Ao analisar os resultados dos parâmetros econômicos do sistema agroflorestal com o feijão-caupi, percebe-se que somente os consórcios com os clones de

eucaliptos apresentaram resultados positivos em todos os parâmetros avaliados (Tabela 45).

**Tabela 45:** Indicadores econômicos das espécies arbóreas em sistema agroflorestal com feijão-caupi 4 m x 2 m aos oito anos

Métodos	Espécies arbóreas em SAF com feijão Caupi (4 mx2 m)			
	Clone MA 2001	Clone MA 2000	Angico	Aroeira
VPL (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	3.203,08	672,11	-1.103,49	-1.815,07
TIR (% a.a)	26,20%	12%	3%	-11%
B/C	2,53	1,30	0,76	0,59
VAE (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	582,38	122,20	-200,63	-330,01
VET (R\$.ha <sup>-1</sup> )	10.025,17	5.006,92	1.486,36	75,48

Fonte: O autor (2023)

Com o clone MA 2001, o VPL apresentou seu maior valor agregado positivo, em comparação com as demais espécies, com valor de R\$ 3.203,08 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo esse o ganho real do projeto, já descontados de todos os fluxos corrigidos pela taxa mínima de atratividade (TMA) do investimento florestal. Seu TIR obtido de 26,20% foi bem maior que a TMA do projeto (9,17%), indicando o baixo risco do investimento em função do seu retorno financeiro. Seguindo esta lógica, o valor obtido no consórcio com o clone MA 2001, em relação ao seu benefício/custo, ficou em 2,53, ou seja, a cada 1 real investidos no SAF com o feijão, há um retorno na lucratividade de 153% a mais, tornando-se aceitável o projeto. Seu VAE e o VET seguiram a mesma tendência dos resultados dos parâmetros anteriores, com valor anual equivalente positivo de R\$ 582,38 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e valor esperado da terra de R\$ 10.025,17 ha<sup>-1</sup>, tornando-se essa associação com o clone MA 2001 viável economicamente para a região.

Com o consórcio com clone MA 2000, obteve-se a segunda melhor alternativa de investimento no projeto, com VPL de R\$ 672,11 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e VAE positivo equivalente de R\$ 122,20 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, num horizonte de oito anos de rotação do projeto. Sua taxa interna de retorno obtida foi de 12%, tornando-se pequena a margem de segurança do investimento, porém aceitável. A razão B/C obtido foi de 1,30, ou seja, um retorno de 30% para cada 1 real investido, e VET com limite máximo aceitável de R\$ 5.006,92 ha<sup>-1</sup>.

Com os consórcios do feijão-caupi com as espécies nativas, Angico e Aroeira, não foi verificada viabilidade econômica em todos os parâmetros avaliados, ou seja, num horizonte de oito anos, não é possível obter retorno financeiro que compense o

investimento inicial do projeto dessas duas espécies. No entanto, em comparação com o monocultivo 3 m x 2 m, o projeto em SAF com a Aroeira conseguiu aumentar o seu VPL em de 74,98% e, no Angico, em mais de 81%, já na comparação com o monocultivo 4 m x 2 m, o SAF com a Aroeira conseguiu aumentar em média o VPL em 72,05% e, no Angico, em 79,96%, ou seja, por mais inviável que seja o investimento do consórcio das espécies florestais nativas com o feijão-caupi, o mesmo possibilitou uma amortização significativa dos seus custos, quando comparados ao plantio isolado das espécies arbóreas, numa rotação de oito anos.

Resultados similares foram encontrados por Araújo, *et al.* (2015) na avaliação econômica de um sistema agroflorestal consorciado com o feijão-caupi, num horizonte de sete anos. Os autores obtiveram os maiores índices econômicos para a associação da espécie florestal com a leguminosa, em comparação ao seu respectivo monocultivo, indicando a viabilidade econômica quando associadas espécies florestais exóticas de rápido crescimento com o feijão-caupi.

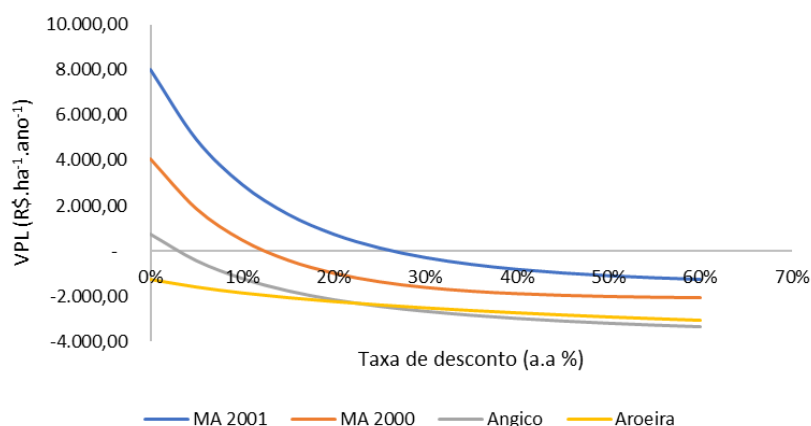
Meireles *et al.* (2021), pesquisando a viabilidade econômica na implantação de um sistema agroflorestal com o feijão-caupi, concluíram que os SAF estudados foram economicamente viáveis, sendo essa uma atividade importante com opção alternativa de produção de alimento e geração de renda pela venda da madeira, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Janoselli, *et al.* (2016), avaliando economicamente um monocultivo de eucalipto num horizonte de cultivo de 14 anos, não obtiveram viabilidade econômica no sistema proposto, reforçando, assim, o papel relevante dos sistemas agroflorestais no aumento significativo dos lucros do investimento florestal, mediante a diversificação de todos os produtos gerados dentro do sistema SAF, favorecendo, desta forma, a viabilidade do projeto.

Observando a perspectiva da sensibilidade do valor presente líquido (VPL) em função das diferentes possibilidades das taxas de desconto aplicadas ao investimento florestal, verifica-se que o Angico é o mais sensível na inviabilidade do projeto, na linha de mudanças na respectiva taxa, com intervalo mínimo de viabilização do projeto em até 3%. Já o clone MA 2000 foi o segundo mais sensível, com margem de segurança financeira de 0% a 12%. Com o clone MA 2001, existe uma margem maior de possibilidade de utilização viável da taxa mínima de atratividade pelo projeto, ou seja, a utilização do consórcio se torna menos sensível nas possibilidades subjetivas



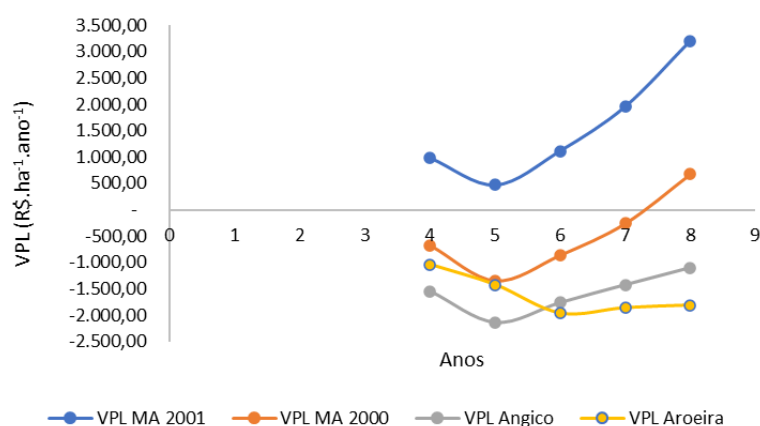
de que os valores investidos não superem todos os custos aplicados inerentes ao projeto (Figura 50).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 50:** Análise de sensibilidade do VPL em função da variação da taxa de desconto nas espécies florestais em SAF com o feijão-caupi (4 m x 2 m) aos oito anos.

Considerando a sensibilidade do VPL em função dos anos de rotação na perspectiva de venda da madeira em pé, observa-se que, para o clone MA 2001, desde o quarto ano de idade, o consórcio já apresentava viabilidade econômica na respectiva negociação da venda da madeira em pé, juntamente com os ganhos atribuídos às receitas oriundas da comercialização do feijão (Figura 51). Esta tendência aumenta a partir do quinto ano e continua em constante crescimento do VPL à medida que a floresta se desenvolve e atinge sua maturidade florestal. Com o clone MA 2000, a viabilidade econômica só foi possível após o início do ciclo dos sete anos, verificando, assim, que, após este período, as receitas atribuídas durante a manutenção e implantação do projeto já superam todos os custos aplicados no sistema com a respectiva espécie florestal.

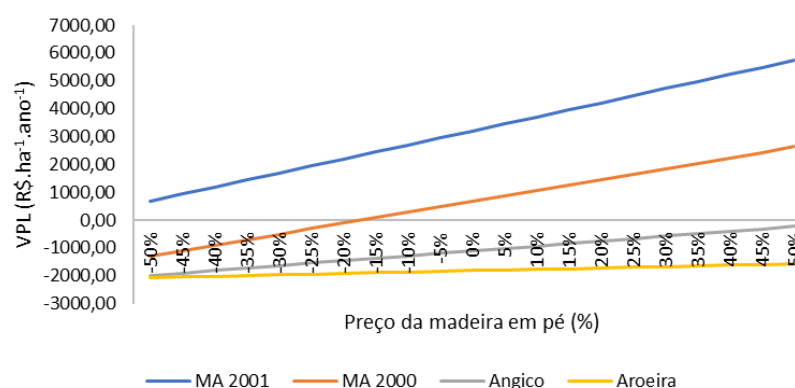


Fonte: O autor (2023)

**Figura 51:** Análise de sensibilidade do VPL em função da idade do povoamento nas espécies florestais em SAF com o feijão-caupi (4mx2m) aos oito anos.

Para as espécies nativas, não é possível verificar a viabilidade econômica na comercialização da venda da madeira no intervalo inferior a oito anos de idade, mesmo com as receitas geradas pelo feijão nas duas consorciações. Porém é perceptível o crescimento linear do VPL da espécie florestal do Angico a partir do quinto ano, à medida que ocorre o aumento significativo do seu incremento volumétrico, podendo inferir que a viabilidade econômica da consorciação das espécies nativas com o feijão-caupi só ocorrerá em um período maior ao observado com as espécies exóticas dos eucaliptos.

Quando se observa o gráfico de sensibilidade do VPL em função da variação do preço da madeira em pé, percebe-se que o consórcio com o clone de eucalipto MA 2001 foi o único a oferecer segurança no investimento agroflorestal nesta respectiva idade com o feijoeiro. Para esse clone, existe uma margem de preço na venda da madeira em pé, que pode variar de R\$50,00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> a R\$150,00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, em relação ao valor praticado de R\$100,00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, sem inviabilizar o seu VPL, evidenciando, assim, um baixo risco de prejuízo neste investimento com essa consorciação, em função de possíveis oscilações de preço da madeira do eucalipto para lenha na região (Figura 52).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 52:** Sensibilidade do VPL em função da variação do preço da madeira em pé (%) em SAF com feijão Caupi (4 m x 2 m) aos 8 anos.

Já para o clone MA 2000, o consórcio com o feijoeiro deixa de ser viável se considerar um cenário pessimista, em que o valor da madeira do eucalipto reduza seu preço em mais de 15%, ou seja, se o preço ficar abaixo de R\$85,00 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>. Mesmo com este cenário, a consorciação dos clones de eucaliptos com o feijão favoreceu a segurança do investimento, devido tanto às receitas geradas com a venda do feijão nos anos iniciais do plantio florestal quanto ao desenvolvimento satisfatório das árvores no consórcio. Foi o que observaram Santos e Paiva (2002) e Lunes (2021), ao avaliarem economicamente um sistema de SAF com feijoeiro, indicando que os fluxos de caixa iniciais obtidos com o feijão contribuíram satisfatoriamente para a garantia do sucesso financeiro do projeto de investimento agroflorestal.

Com as espécies nativas, independentemente da variação do preço considerada de 50% do valor da madeira em pé, para mais ou para menos, em função do valor de referência utilizado neste estudo, não viabilizou economicamente os projetos. No entanto, para o Angico, percebe-se um crescimento linear do VPL mais acentuado, em função do aumento do preço da madeira, indicando que, em um cenário bastante otimista, com valores de venda da madeira nativa em pé, acima de 50% do valor estabelecido neste estudo de R\$57,00 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>, tende-se a viabilizar o projeto em função do VPL.

#### 5.12.4 - Sistema silvipastoril com o capim Tanzânia em espaçamento 4 m x 2 m

Considerando os resultados gerados a partir das receitas procedentes do sistema silvipastoril com as espécies arbóreas consorciados com o capim Tanzânia, fazendo-se uso da taxa de atratividade de 9,17% a.a e considerando todos os custos

do investimento do projeto em sistema silvipastoril (implantação, manutenção, corte do capim Tanzânia e estimação de venda da madeira em pé), verifica-se que, na fase de implantação do sistema, ocorreram em todas as espécies arbóreas consorciadas reduções nos seus saldos negativos (Tabela 46).

**Tabela 46:** Fluxo de caixa das espécies arbóreas consorciadas com o capim Tanzânia, considerando a venda da madeira em pé no sistema silvipastoril 4 m x 2 m

Clone MA 2001 (4 mx2 m) em SAF com capim Tanzânia						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do capim Tanzânia	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	835,41	1542	-2937,74
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	560,00	1133,33	423,33
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	596,27	552,67	-193,60
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	607,09	352	-405,09
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	635,09	385	-350,09
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		17266,93	17266,93
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>7728,19</b>		<b>12338,79</b>
Clone MA 2000 (4mx2m) em SAF com capim Tanzânia						
	Descrição	Ano	Unidade	Custo	Receita	Saldo
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	787,80		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do capim Tanzânia	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	835,41	1720	-2759,74
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	560,00	1153,33	443,33
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	596,27	483,33	-262,94
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	607,09	168	-589,09
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00	

Tabela 46: Continuação

	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		11182,79	11182,79
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>7093,10</b>		<b>7614,35</b>
<b>Angico (4 mx2 m) em SAF com capim Tanzânia</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do capim Tanzânia	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	835,41	1737,00	-5224,31
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	560,00	1294,67	584,67
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	596,27	1132,00	385,73
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	607,09	996,00	238,91
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	635,09	644,67	-90,42
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	665,00	404,00	-361,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		5459,89
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>10874,76</b>		<b>793,47</b>
<b>Aroeira (4 mx2 m) em SAF com capim Tanzânia</b>						
	<b>Descrição</b>	<b>Ano</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>	<b>Saldo</b>
<b>Implantação</b>	Aquisição de mudas	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	3269,37		
	Preparo do solo, plantio e tratamentos culturais	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	2369,60		
	Manutenção das árvores	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Terra – Arrendamento	0	ha	336,93		
	Cultivo do capim Tanzânia	0	R\$.ha <sup>-1</sup>	835,41	1582,00	-5379,31
<b>Manutenção</b>	Manutenção das árvores	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	1	R\$.ha <sup>-1</sup>	560,00	1360,67	650,67
	Manutenção das árvores	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	2	R\$.ha <sup>-1</sup>	596,27	1118,00	371,73
	Manutenção das árvores	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	150,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	3	R\$.ha <sup>-1</sup>	607,09	1264,67	507,58
	Manutenção das árvores	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	4	R\$.ha <sup>-1</sup>	635,09	1336,67	601,58
	Manutenção das árvores	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		
	Cultivo do capim Tanzânia	5	R\$.ha <sup>-1</sup>	665,00	1199,00	434,00
	Manutenção das árvores	6	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00
	Manutenção das árvores	7	R\$.ha <sup>-1</sup>	100,00		-100,00

**Tabela 46:** Continuação

<b>Produção</b>	Produção de lenha em pé Clones MA 2001	8	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		221,87	221,87
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>10874,76</b>		<b>-2791,88</b>

Fonte: O autor (2023)

Com o clone MA 2001, em comparação com seu respectivo monocultivo (3 m x 2 m e 4 m x 2 m), as reduções foram na ordem de 24,80% e 19,39%, respectivamente. Para o clone MA 2000, a redução verificada foi de 29,36% para o monocultivo 3 m x 2 m e de 24,37% para o monocultivo 4 m x 2 m. Percebe-se que, em ambos os clones, a redução do saldo negativo nesta etapa foi menor do que visto no sistema agroflorestal com o feijão-caupi, fato esse devido ao seu maior valor agregado na comercialização final do seu produto.

Este comportamento se repetiu com as árvores nativas consorciadas, tendo, para o consórcio com o Angico, redução do seu saldo negativo obtido na implantação do sistema silvipastoril de 27,59%, quando comparado ao seu monocultivo 3 m x 2 m, e de 14,72% quando comparado ao monocultivo 4 m x 2 m. Na Aroeira, a associação entre as espécies rendeu redução de 25,43% em comparação ao seu monocultivo florestal 3 m x 2 m e de 12,19% em relação ao monocultivo 4 m x 2 m, valores menores aos observados entre os clones de eucaliptos na fase inicial de interação entre as plantas, porém, satisfatórios, devido à geração imediata de receitas em um momento de maiores custos de um projeto florestal (KICHEL *et al.*, 2014).

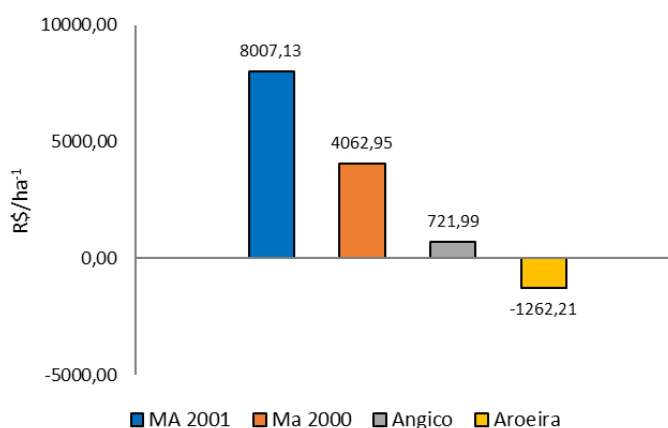
Na fase de manutenção do sistema silvipastoril, os saldos obtidos nos consórcios com os clones de eucaliptos foram menores quando comparados às espécies nativas, visto que a produção do capim Tanzânia consorciado entre os clones se reduziu de forma gradativa ao longo dos seus quatro anos iniciais de projeto. Com o Clone MA 2001, o saldo obtido do primeiro ao sétimo ano ficou negativado em R\$ -825,45 ha<sup>-1</sup>, já com o clone MA 2000 seu respectivo saldo negativo ficou em R\$ -808,70 ha<sup>-1</sup>.

Com as espécies nativas, pode-se gerar um saldo positivo até o sétimo ano de cultivo, possibilitando, assim, a criação de um fluxo de reserva pela venda direta do capim produzido, reduzindo, deste modo, os custos de manutenção do sistema florestal. Este aumento de receita ocorreu de forma mais acentuada no consórcio com a Aroeira, tendo gerado saldo positivo médio, na manutenção do sistema até o sétimo ano, de R\$ 2.365,56 ha<sup>-1</sup>. Com o Angico, a geração de receita com o capim Tanzânia

possibilitou a criação de saldo médio menor, porém, positivo, de R\$ 557,89 ha<sup>-1</sup>, devido às limitações já observadas do desenvolvimento do capim Tanzânia entre as linhas de cultivo do Angico, principalmente a partir do quarto ano de cultivo, onde se iniciou a negatização do seu respectivo saldo em função de uma maior contribuição relativa no consórcio pela espécie florestal do que em relação ao crescimento da forrageira.

No saldo final médio, aos oito anos de projeto, com a estimativa de receita gerada com a venda da madeira em pé das espécies arbóreas, somados aos seus fluxos gerados anteriormente no sistema, somente o consórcio com a Aroeira se obteve saldo final negativado de R\$ -2.791,88 ha<sup>-1</sup>, devido a sua produtividade volumétrica ser muito baixa, com 3,89 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>.

Os maiores saldos finais positivos foram obtidos com os clones de eucaliptos, com R\$ 12.338,79 ha<sup>-1</sup> para o clone MA 2001, para uma produtividade média de 172,67 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup> e, para o clone MA 2000, com saldo positivo final de R\$ 7.614,35 ha<sup>-1</sup> com uma produtividade de 111,83 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>. O Angico apresentou o saldo final positivo de R\$ 793,47 ha<sup>-1</sup>, em função da sua produtividade estimada de 95,79 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup> (Figura 53).



Fonte: O autor (2023)

**Figura 53:** Distribuição do saldo final médio (R\$/ha<sup>-1</sup>) do sistema silvipastoril com capim Tanzânia.

Avaliando os parâmetros financeiros do sistema silvipastoril na verificação da sua viabilidade econômica, observa-se que somente com os clones de eucaliptos foram obtidos valores positivos em todos os indicadores propostos nesta pesquisa,

inviabilizando economicamente o uso de espécies nativas no consórcio com o capim Tanzânia (Tabela 47).

**Tabela 47:** Indicadores econômicos das espécies arbóreas em sistema silvipastoril com o capim Tanzânia (4 m x 2 m) aos 102 meses de idade

Métodos	Espécies arbóreas em SAF com capim Tanzânia (4 mx2 m)			
	Clone MA 2001	Clone MA 2000	Angico	Aroeira
VPL (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	4.533,02	2.267,62	-1.884,94	-3.381,08
TIR (% a.a)	22,44%	17%	2%	-19%
B/C	2,54	1,82	0,64	0,37
VAE (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	824,18	412,29	-342,71	-614,74
VET (R\$.ha <sup>-1</sup> )	12.662,11	8.170,41	-63,05	-3.029,52

Fonte: O autor (2023)

Para o clone MA 2001, obteve-se o maior valor presente líquido entre todas as espécies, com valor de R\$ 4.533,02 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, revertendo positivamente todos os seus fluxos de caixa corrigidos, gerando riqueza na opção por esse tipo de consórcio. Com TIR de 22,44%, B/C de 2,54 para cada real investido, VAE de R\$ 824,18 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, e VET máximo atribuído a esse consórcio de R\$ 12.662,11 ha<sup>-1</sup>, indica a aceitação da viabilidade econômica na opção do uso do respectivo clone no consórcio com a forrageira, mostrando sua sustentabilidade financeira durante todo o período de cultivo nesta respectiva associação.

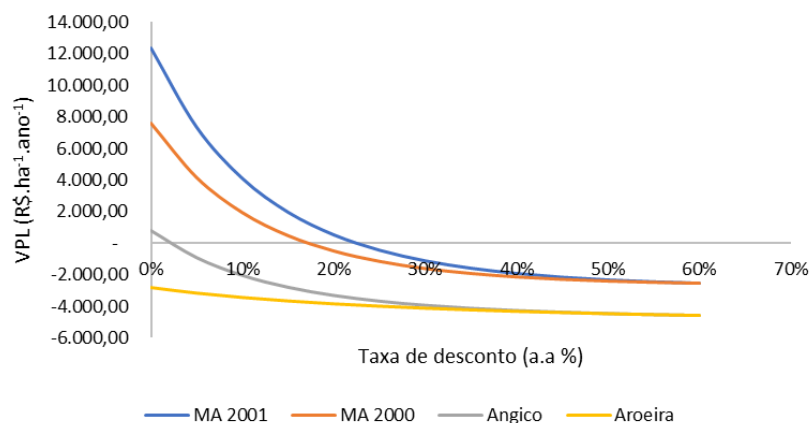
Já com o clone MA 2000, obteve-se a segunda melhor opção economicamente viável, com valores de VPL de R\$ 2.267,62 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, TIR de 17%, B/C de 1,82, VAE de R\$ 412,29 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e VET máximo de R\$ 8.170,41 ha<sup>-1</sup>, bem acima do valor praticado da terra nua na região, viabilizando, assim, o projeto.

Resultados similares foram encontrados também em pesquisas de Cordeiro (2010), Vale (2014) e Weimann, Farias e Deponti (2017), que obtiveram valores positivos nos indicadores econômicos em sistemas silvipastoris, indicando a eficácia deste modelo de produção no aumento da renda financeira.

Avaliando o gráfico da sensibilidade do VPL em função das diferentes taxas de desconto aplicadas no sistema silvipastoril aos oito anos de idade, percebe-se que o clone de eucalipto MA 2001 foi o que mais apresentou margem de segurança para o investimento do consórcio florestal, mostrando uma sensibilidade maior de redução



do VPL nas menores taxas aplicadas, no entanto, permitindo a garantia de viabilidade econômica até o limite de 22,44% (Figura 57).



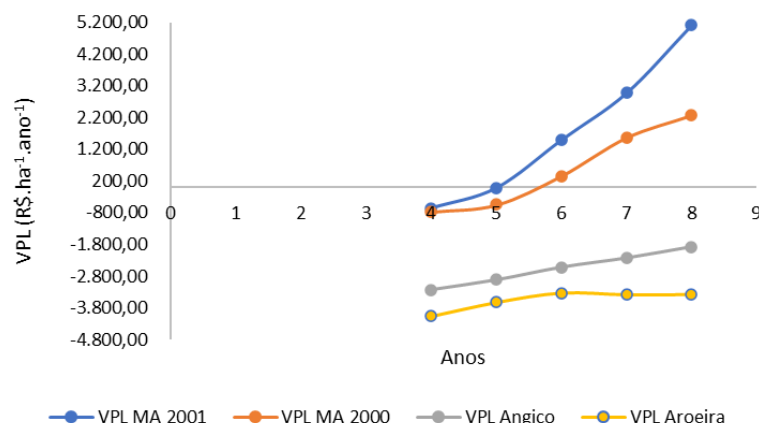
Fonte: O autor (2023)

**Figura 54:** Análise de sensibilidade do VPL em função da variação da taxa de desconto nas espécies florestais em SAF com o capim Tanzânia (4 m x 2 m) aos oito anos.

Com o Clone MA 2000, a sensibilidade na redução do VPL nas menores taxas é menor do que a do clone MA 2001, porém, a margem de segurança da viabilidade econômica é reduzida, inviabilizando o projeto ao aplicar taxas de juros acima de 17%.

Com o Angico, a pequena margem de juros estabelecida para que o projeto seja viável, com todas as suas características produtivas, é impraticável do ponto de vista de mercado, visto que, na prática, existem outros meios de investimento financeiro com rentabilidade superior a 2% a.a, com baixo nível de risco de perda de capital, com a qual já inviabilizaria a opção por essa forma de cultivo para investimentos econômicos.

No gráfico de sensibilidade do VPL em função da idade do consórcio, percebe-se que ambos os clones de eucaliptos apresentaram viabilidade econômica do sistema a partir dos seis anos de idade, ou seja, a venda da madeira em pé, juntamente com renda atribuída ao capim Tanzânia, durante todo o período de cultivo, já possibilitava a sustentabilidade econômica do investimento, com criação de riquezas por meio do retorno do capital aplicado (Figura 55).

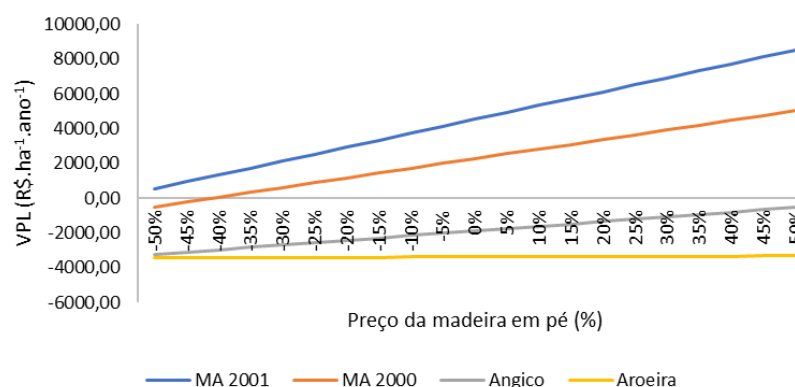


Fonte: O autor (2023)

**Figura 55:** Análise de sensibilidade do VPL em função da idade do povoamento nas espécies florestais em SAF com o capim Tanzânia (4 m x 2 m) aos oito anos.

As espécies nativas, mesmo com o Angico mostrando crescimento constante no seu VPL em comparação com a Aroeira, não apresentam, a um curto espaço de tempo, possibilidades viáveis economicamente para a venda da madeira em pé para produção de lenha, indicando que necessitam de um prazo de tempo maior em seu cultivo, a fim de possibilitar retorno do investimento empregado.

Quando se observam os cenários de possíveis oscilações no preço da venda da madeira em pé, pelo gráfico de sensibilidade do VPL (Figura 56), comprova-se a viabilidade econômica do consórcio do clone MA 2001 com o capim Tanzânia, mesmo que o preço da madeira em pé oscile em uma amplitude de 50%, para mais ou para menos, que não modificaria seu resultado positivo em função de seu VPL.



Fonte: O autor (2023)

**Figura 56:** Sensibilidade do VPL em função da variação do preço da madeira em pé (%) em SAF com capim Tanzânia (4 m x 2 m) aos oito anos.

Com o clone MA 2000, só inviabilizaria o sistema caso o preço de venda da madeira em pé aos oito anos reduzisse em mais de 41% o seu valor em relação ao preço de referência de R\$100,00 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>.

Com as espécies florestais nativas, como já observado no consórcio com o feijão-caupi, não é possível verificar viabilidade econômica nessas consorciações, mesmo que o preço pago, referente à madeira em pé, aumente em até 50% do valor padrão estabelecido para as espécies nativas, não viabilizaria economicamente esses sistemas.

No entanto, levando-se em consideração que a manutenção das florestas em pé, tanto consorciadas ou em monocultivos, enquanto seu VPL não atinge a viabilidade econômica de exploração, as mesmas podem proporcionar ganhos extras, em valores monetários adicionais em suas receitas, com a possibilidade de obtenção de venda de créditos pelo carbono sequestrado pelas árvores (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Esta vantagem adicional, somada a todos os benefícios ambientais, sociais e econômicos na manutenção das florestas, pode favorecer o aumento significativo dos VPL's de cada cultura, possibilitando a sua viabilidade econômica de forma mais rápida e sustentável.

## 6 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com o projeto durante o período de 2014 a 2022, na Estação Experimental do IPA, em Belém de São Francisco, Pernambuco, em que foram analisados os plantios em monocultivo e consorciados de espécies arbóreas de clones de eucaliptos, aroeira e angico com as culturas agrícolas do feijão-caupi e capim Tanzânia, conclui-se pela viabilidade técnica e econômica do projeto, mediante as seguintes observações:

- Os consórcios agrícolas do feijão-caupi e do capim Tanzânia com os dois clones de eucaliptos se apresentaram viáveis economicamente em todos os parâmetros econômicos analisados, entretanto, o Clone MA 2001 se mostrou mais rentável na comercialização da madeira em pé para produção de lenha aos oito anos de idade;
- Com as espécies nativas do angico e da aroeira aos oito anos de idade, não é recomendável economicamente a venda da madeira em pé para produção de lenha nos sistemas consorciados, devido às inviabilidades econômicas dos sistemas;
- As maiores receitas geradas na comercialização da produção das culturas agrícolas foram provenientes dos consórcios com as espécies nativas e dos seus respectivos monocultivos;
- As receitas atribuídas pela produção das culturas agrícolas, somadas com a estimativa de venda da madeira em pé das espécies arbóreas, reduziram os custos de implantação e manutenção dos sistemas consorciados em relação aos seus respectivos monocultivos florestais;
- A produtividade do feijão-caupi em monocultivo proporcionou as maiores médias quando comparada às demais formas de cultivo em todas as suas safras, porém, não se diferenciando significativamente do cultivo consorciado com a aroeira em mais da metade das produções das safras de feijão-caupi;
- As menores produções do feijão-caupi ocorreram no cultivo consorciado com os clones de eucalipto;

- Os adubos orgânicos provenientes do resíduo da piscicultura e do sedimento do lago de Itaparica proporcionaram um aumento significativo na produção do feijão-caupi;
- A influência dos adubos orgânicos na produtividade do capim Tanzânia só foi perceptível até a décima segunda safra, tendo o resíduo de tanques de piscicultura a melhor resposta na produção inicial da forrageira. Após o período inicial, não foi constatada influência significativa dos adubos orgânicos e condicionadores do solo no aumento significativo da produção do capim Tanzânia;
- O capim Tanzânia em monocultivos, durante as doze primeiras safras, apresentou as maiores produtividades. No entanto, a partir da décima terceira safra, a produção do capim Tanzânia consorciado com a espécie nativa da aroeira proporcionou as maiores médias de produção da forrageira;
- Em função do índice de produtividade relativa das culturas agrícolas, as produções do feijão-caupi e do capim Tanzânia se mostraram mais eficientes em monocultivo, com exceção do consórcio com a aroeira em relação à forrageira nos últimos anos de produção;
- Em relação ao índice de eficiência de área das culturas agrícolas com a produção das espécies arbóreas nos diferentes tipos de cultivos florestais, percebeu-se uma predominância de eficiência dos consórcios, com contribuições relativas majoritariamente das essências florestais;
- Os clones de eucalipto apresentaram os melhores resultados em função do crescimento volumétrico, sendo destaque o clone MA 2001, o qual apresentou as maiores médias de desenvolvimento em relação às demais espécies;
- Entre as espécies nativas, destacou-se o angico em função do crescimento em volume médio das árvores ao longo dos 102 meses de idade;
- Os adubos orgânicos, provenientes do sedimento do lago de Itaparica e do resíduo dos tanques de piscicultura, não diferiram estatisticamente do biocarvão e da testemunha na maioria das medições, em relação ao volume médio das árvores;

- Entre as diversas formas de cultivo florestal, o sistema silvipastoril com capim Tanzânia teve maior influência significativa no desenvolvimento das espécies arbóreas em relação ao volume médio das árvores, quando comparados aos monocultivos florestais;
- Quando avaliados os dados em relação ao volume médio das espécies arbóreas, desconsiderando o monocultivo (4 m x 2 m), percebe-se um aumento significativo do volume médio do clone MA 2001. Porém, não foram verificadas alterações significativas no aumento volumétrico das árvores em função das diferentes formas de adubações orgânicas;
- Recomenda-se adicionar outros parâmetros de valorização dos sistemas consorciados, como exemplo da venda de crédito de carbono sequestrado, a fim de potencializar o aumento das receitas geradas e, conseqüentemente, sua viabilidade econômica; e
- Por fim, com os resultados obtidos nesta pesquisa, todas as justificativas e objetivos propostos foram alcançados, indicando que a forma de cultivo agroflorestal pode ser usada como modelo de referência de produção agrícola-florestal viável técnica e economicamente pelo pequeno produtor rural da região de Itaparica – Pernambuco.

## 7 - REFERÊNCIAS

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

Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/261706306\\_SISTEMAS\\_A\\_GROFLORESTAIS\\_E\\_AGRICULTURA\\_FAMILIAR\\_UMA\\_PARCERIA\\_INTERESSANTE](https://www.researchgate.net/publication/261706306_SISTEMAS_A_GROFLORESTAIS_E_AGRICULTURA_FAMILIAR_UMA_PARCERIA_INTERESSANTE). Acesso em: 19 mar. 2022.

AGRITEMPO. 2022. **Sistema de Monitoramento agrometeorológico**. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em 20 mai. 2022.

ALMEIDA, et al. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.1, Jan-Jun., p.33-44. 2014. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/955>. Acesso em: 10 nov 2021

ALMEIDA, A. C. S. *et al.* Diagnóstico e planejamento: uma análise sistêmica das propriedades rurais no assentamento Timbó no município de Moreno, PE. **Pesquisa agropecuária pernambucana**, Recife, v. 17, n. 1, p. 94-98, 2012. <https://doi.org/10.12661/pap.2012.017>.

ALMEIDA, A. C. S. *et al.* Caracterização de produtores e propriedades rurais em três municípios do estado de Pernambuco. **Caatinga**, v.19, n.4, p.323-332, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/download/90/59>. Acesso em 15 de abril de 2022

ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Esalq/USP, Piracicaba, 2009. <https://doi.org/10.11606/T.11.2009.tde-09092009-110849>.

ALMEIDA, S. P. *et al.* **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998.

AMANULLAH, F. K. Land Equivalent Ratio, Growth, Yield and Yield Components Response of Mono-cropped vs. Inter-cropped Common Bean and Maize With and Without Compost Application. **Agric. Biol. J. N. Am.**,v. 7, n. 2, p. 40-49, 2016. Disponível em: <https://scihub.org/media/abjna/pdf/2016/02/ABJNA-7-2-40-49.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ANGELIM, A. M. *et al.* Agrofloresta para segurança alimentar e nutricional em período seco do ano em agroecossistema familiar no semiárido. Cadernos de Agroecologia. In: XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2., 2020, São Cristóvão. **Anais...** Sergipe: EMBRAPA/CIM, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126263/agrofloresta-para-seguranca-alimentar-e-nutricional-em-periodo-seco-do-ano-em-agroecossistema-familiar-no-semiarido>. Acesso em: 25 abr. 2022.

APAC. 2022. **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2022.

ARAÚJO, E. F. *et al.* Rentabilidade de plantios de acácia-australiana e de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Sudoeste do Piauí. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 268-275, 2015. <https://doi.org/10.31413/nativa.v3i4.2559>

ARAÚJO, G. J. F. Desafios da agricultura irrigada de base familiar no sistema produtivo de água de coco – Petrolândia, Pernambuco. 2017. 195f. (**Tese de doutorado**) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/31399>. Acesso em: 02 abr. 2022.

ARAÚJO, R. A. *et al.* Consumo de nutrientes e análise econômica de tourinhos criados em sistemas silvipastoris com babaçu na região pré-amazônica. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** [online]., v. 19, n. 3, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/QxSwcSLR9pP7w9NgbNwd4VM/?lang=en>. Acesso em: 26 mai. 2022.

BANDEIRA, M. B. Publicações científicas em turismo: uma análise dos periódicos “on line” no Brasil. **CULTUR – Revista de Cultura e Turismo** **CULTUR**, v. 2, n. 1, 2008. Disponível em: <http://periodicos.uesc.br/index.php/cultur/article/view/226>. Acesso em: 13 mai. 2022.

BARROS, B. C, *et al.* Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, 2010. <https://doi.org/10.5902/198050982422>

BELTRAME, T.P; RODRIGUES, E. Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 317-327, dez. 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/16822>. Acesso em: 18 jun 2022



BERGER, R, *et al.* O efeito do custo da terra na rentabilidade florestal: um estudo de caso para Santa Catarina. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 599-610, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/24053>. Acesso em: 25 mar. 2022.

BEZERRA NETO, F. *et al.* Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados. **Hortic. bras.**, v. 25, n. 4, P. 193-198, 2007.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/sMv57H8xsnpVhLqbxP4LkK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 abr. 2022.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Sustainable management of Eucalyptus plantations in a changing world. In: International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus, 1., 2004, Portugal/USP. **Anais...** Aveiro: USP, 2004. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001468066>. Acesso em: 18 mar. 2022.

BOCK, C. L., *et al.* Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-nilo. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2197-2202, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000800001>

BRAGA, *et al.* Produção e sortimento de madeira em plantio convencional e agrossilvipastoril de eucalipto. **AGRARIAN ACADEMY**, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v.9, n.17, p. 49, 2022. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5496/5334>. Acesso em 10 de jun. 2022.

BRASIL. Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, v. 158, n. 91, p. 1-4, 11 dez. 1979.

BRASIL. Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, v. 172, n. 105, 26 fev. 1993.

BRASIL. **Relatório de análise de mercado de terras – RAMT 2019**. Petrolina: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/ppr\\_ramt\\_UA\\_sertao\\_petrolina\\_2020.pdf](https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/ppr_ramt_UA_sertao_petrolina_2020.pdf). Acesso em: 8 set. 2022.

BRITO, S.; SANTOS, A. C. Decomposição e mineralização de nutrientes em função da aplicação de diferentes fontes de matéria orgânica. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 10, 2010. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/articloe/view/4642/4524>. Acesso em: 8 jun. 2022.

CAIONE, G; LANGE, A; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/15940>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CAMBUIIM, J. Sistema silvipastoril com *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. como alternativa de sustentabilidade. 2013. 92f. Dissertação (**Mestrado em Agronomia**) - Universidade Estadual Paulista, 2013. Disponível em: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/910071>. Acesso em: 15 jun. 2020.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

CARVALHO P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, A. J. **Sistema de produção de feijão em consórcio com eucalipto ou braquiária**. 2009, 144f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa (MG), 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/111/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

CARVALHO, M. M, *et al.* Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesq. agropec. bras.**, v. 37, n. 5, p. 717–722, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500018>

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

CASTRO, A .F. *et al.* Quantificatio of forestry and carbonization waste. **Renewable Energy**, v. 103, n. 1, p. 432-438, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.050>

CASTRO, C. N. **A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao desenvolvimento**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), No. 1786, Brasília, 2012.

CATERINA, G. L. **Curvas de crescimento de *Eucalyptus* spp em plantios de diferentes espaçamentos**. 2017. 82f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomas) - Universidade Estadual Paulista, 2017. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150124/caterina\\_gl\\_dr\\_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150124/caterina_gl_dr_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 15 out. 2021.

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, n. 1, p. 285–298, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11056-007-9077-0>

CHAN, K. Y. *et al.* Agronomic values of greenwaste biochar as soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, n. 1, p. 629-634, 2007. <http://dx.doi.org/10.1071/SR07109>

CHEN, X, *et al.* Whole-plant water hydraulic integrity to predict drought-induced *Eucalyptus urophylla* mortality under drought stress. **Forest Ecology and Management**, v. 468, n. 1, p. 1-5, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118179>

COELHO, S. R. F. *et al.* Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 759-768, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600001>

CORDEIRO, S. A. **Avaliação econômica e simulação em sistemas Agroflorestais**. 2010. 96f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2010. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8379>. Acesso em: 05 Mar.2021

CORDEIRO, S. A. *et al.* Simulação da Variação do Espaçamento na Viabilidade Econômica de um Sistema Agroflorestal. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n.1, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.034613>

COSTA, A. F. Feijão-Caupi no semiárido brasileiro. **Cadernos do Semiárido**, Creape; IPA, 2020.

COSTA, A. R. **Nutrição Mineral de Plantas Vasculares**. Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014.

CREMONEZ, F. E, *et al.* Principais plantas com potencial alelopático encontradas nos sistemas agrícolas brasileiros. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 1, 2013. Disponível em: [https://redib.org/Record/oai\\_articulo1946372-principais-plantas-com-potencial-alelop%C3%A1tico-encontradas-nos-sistemas-agr%C3%ADcolas-brasileiros](https://redib.org/Record/oai_articulo1946372-principais-plantas-com-potencial-alelop%C3%A1tico-encontradas-nos-sistemas-agr%C3%ADcolas-brasileiros). Acesso em: 06 Mar. 2021

DE WIT, C. T.; VAN DEN BERGH. Competition between herbage plants. Holanda, **Journal of Agricultural Science**, v. 13, n. 1, p. 212-221, 1965.

DOSSA, D. **A decisão econômica num sistema agroflorestal**. Colombo: Embrapa Floresta, 2000.

DRÓZDZ, D. *et al.* Potencial dos Compostos de Sedimentos de Viveiros de Peixes como Fertilizantes Orgânicos. **Waste Biomass**, v. 11, n. 1, p. 5151–5163, 2020.

DRUMOND, M. A. *et al.* Desempenho silvicultural do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*, sob diferentes espaçamentos de plantio na chapada do araripe, Araripina-PE, In: ELSEMBURGH, C. A. (Org.). **Conceitos e conhecimentos de métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal**. 1. Ed. Ponta Grossa: Atena, 2021.

FERNANDES, C. A. F.; MATSUMOTO, S. N.; FERNANDES, V. S. Estoque de carbono no desenvolvimento de diferentes projetos de sistemas agroflorestais biodiversos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 22, n. 10, p.720-725, 2018. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662018001000720&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662018001000720&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 06 Mar. 2021

FERNÁNDEZ, M. *et al.* Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. **Agroforestry Systems**, v. 74, n. 2, p. 185-197, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9119-4>

FERRAZ, C, R, *et al.* Levantamento fitossociológico em área de Caatinga no monumento natural gruta do Angico, Sergipe, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 89-98, 2013. Disponível em: [https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2673/pdf\\_60](https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2673/pdf_60). Acesso em: 07 Mar. 2021

FERREIRA IRMÃO, J. *et al.* Macroeconomic aspects of the micro-regions São Francisco and Itaparica. In: GUNKEL, G.; SILVA, J. A.; SOBRAL, M. C. **Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas. Pernambuco**: Editora Universitária: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), p. 245-264, 2013.

FERREIRA, A. D. *et al.* Manejo das árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com eucalipto. In: BUNGENSTAB, D. J. *et al.* (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

FERREIRA, D. H. A. A. *et al.* Crescimento e Produção de Eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente** [online], v. 24, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.131315>

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Visão agrícola**, v. 1, n. 4, p. 66-69, 2005.  
Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas03.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

FOLMANN, W. T. *et al.* Viabilidade de projetos florestais em três regimes de manejo na mesorregião centro-oriental do Paraná. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 153-160, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i1.30096>

FRAGA, M. P. *et al.* Estimação de volume de *Pterogyne nitens* em plantio monocultivo no sudoeste da Bahia. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 207-215, 2014. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.703>

FRANCO, M. P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex. maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico**. 2014. 199f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - USP, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-28072014-145056/pt-br.php>. Acesso em: 10 jun. 2022

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. 1. Ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 21. Ed. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2011.

FREITAS, L. *et al.* Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.10, n.1, p.17-26, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/220346>. Acesso em: 10 jun. 2021

GADELHA F. H. L. *et al.* A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015. <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.827>

GARCIA, L. T. *et al.* Viabilidade financeira de sistemas agroflorestais biodiversos no Centro Oeste Brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/227534/1/37217.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2021

GEMIM, B. S.; SILVA, F. A. M. Meliponicultura em sistemas agroflorestais: alternativa de renda, diversificação agrícola e serviços ecossistêmicos. **Revista Agroambiente**, v. 11, n. 4, p. 361-372, 2017. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4156>.

GERMER, J., SAUERBORN, J. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. **Environment, Development and Sustainability**, v.10, n. 1, p. 697-716, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9080-1>

GIACOMINI, S. J. *et al.* Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200012>

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. Ed. São Paulo: Pearson, 2010

GONÇALVES, J. B. **Saber popular e ecológico de sistemas agrossilviculturais por agricultores no município de Bonito-PE**. 2019. 37f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2233>. Acesso em: 10 mar. 2021

GONÇALVES, J. C. *et al.* Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto utilizando a simulação de Monte Carlo. **Ciência Florestal**., Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1339-1347, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830215>

GONTIJO NETO, M, *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p. 183-191, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103999/1/Sistemas-integracao.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021

GONZAGA, A. C. O. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde** – 2. Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

GRAVES, A. R. *et al.* Implementation and calibration of the parameter-sparse Yield-SAFE model to predict production and land equivalent ratio in mixed tree and crop systems under two contrasting production situations in Europe, **Ecological Modelling**, v. 221, n. 13, p. 1774-1756, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.03.008>

GUNKEL, G.; SILVA, J. A. A.; SOBRAL, M. C. **Sustainable management of water and land in semiarid areas**. Editora Universitária: UFPE, Recife, 2013.

GUNKEL, G.; SOBRAL, M. C. Re-oligotroficação 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. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.583>.

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, n. 1, p.201-212, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00478-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00478-2)

HARRISON, R. B. *et al.* Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **For Ecol Manage.**, v. 133, n. 3, p. 167-177, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00235-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00235-2)

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. 2022. **RELATÓRIO IBÁ 2022**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. **Projeções da População**. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/910-9-projecao-da-populacao.html>. Acesso em: 1º dez. 2020



JANOSELLI, H. R. D.; HARBS, R.; MENDES, F. L. Viabilidade econômica da produção de eucalipto no interior de São Paulo. **Revista IPecege**, v. 2, n. 2, p. 24-45, 2016. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2016.2.24>

JEFFERY, S. *et al.* Quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>

KHASANAH, N. *et al.* Oil Palm Agroforestry Can Achieve Economic and Environmental Gains as Indicated by Multifunctional Land Equivalent Ratios. **Frontiers sustainable food systems**, v. 3, n. 122, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00122>

KICHEL, A. N. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ilpf)-experiências no Brasil. Boletim de Indústria Animal., Nova Odessa, v. 71, n. 1, p. 94-105, 2014. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/995520>. Acesso em: 29 jun. 2022.

KILEWE, A. M.; KEALEY, K. M.; KEBARA, K. K. **Agroforestry Development in Kenya: Proceedings of the Second Kenya National Seminar on Agroforestry**. 1. Ed. Kenya: ICRAF, 1989.

LACERDA, M. S. B, *et al.* Composição bromatológica e produtividade do capim-andropógon em diferentes idades de rebrota em sistema silvipastoril. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 31, n. 2, p. 123-129, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303126496005>. Acesso em: 29 jun. 2022.

LANDAU, E. C. *et al.* **Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

LAZZARINI, L. E. S, *et al.* Uso de diodos emissores de luz (led) na fisiologia de plantas cultivadas – revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 137-144, 2017. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n1p137-144>

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. 1. Ed. UK: MPG Books, 2009.

LEMES JÚNIOR, A. B., RIGO, C. M., CHEROBIM, A. P. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2010.



LIMA, L. F. A escolha da taxa de desconto na análise custo benefício. 2013. 52f. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade de Brasília, 2013. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/6431/1/2013\\_LeandroFerreiraLima.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/6431/1/2013_LeandroFerreiraLima.pdf). Acesso em: 02 abr. 2022.

LIMBERGER, E. *et al.* Umidade e água disponível no solo em monocultivo de pastagem e sistema silvipastoril com fileiras duplas de eucalipto. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p. 104-114, 2020. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3219>. Acesso em: 05 abr. 2022.

LOBO, R. L. L. *et al.* Sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p. 38127-38142, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-326>

LOPES, S. M. *et al.* Métodos de cálculo do custo da terra na atividade florestal. **CERNE**, v. 14, n. 1, p. 75-81, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/16656>. Acesso em: 05 abr. 2021.

MACEDO, A. B. V.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 2010.

MALUF, H. J. G. M. *et al.* Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, n. 36, p. 1681-1689, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140657>

MARTINS, M. T. *et al.* Análise nutricional de um plantio monoespecífico de parapiptadenia rígida em campo nativo no bioma pampa. In: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 10, Sant'Ana do Livramento/Rivera, 2018. **Anais...** Santana do Livramento, 2018, p. 1-7. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/100060>. Acesso em: 13 nov. 2022.

MAUCHLY, J.W. Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 11, n. 1, p. 204-209, 1940. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2235878>. Acesso em: 05 nov. 2021.

MEAD, R.; WILLEY, R. W. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. **Expl. Agric.**, v. 16, n. 3, p. 217-228. 1980. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010978>

MEDEIROS, A. C. S. *et al.* Comportamento fisiológico de sementes de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.), em condições de armazenamento. **Boletim Pesquisa Florestal**, v. 40, n. 1, p. 85-98, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/3016/1/medeiros1.pdf> Acesso em: 05 abr. 2022.

MEDEIROS, *et al.* Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de eucalyptus urophylla x eucalyptus grandis sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 147-157, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509821099>

MEDEIROS, R. A, *et al.* Crescimento e produção de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 1109-1118, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001000004>

MEIRELES, R.R, *et al.* Avaliação do perfil econômico em sistemas agroflorestais com mogno brasileiro, cedro australiano e feijão caupi. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p.454-463, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0036>

MELO, G. L. Estudo da qualidade da água no reservatório de Itaparica localizado na Bacia do Rio São Francisco. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5638>. Acesso em: 06 nov. 2021.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris para bovinos e ovinos**. 1. Ed. Embrapa Gado de Corte, 2009.

MENDONÇA, M. P.; LINS, L. V. **Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora de Minas Gerais**. 1. Ed. Belo Horizonte: Biodiversitas e Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte, 2000.

MICCOLIS, A. *et al.* **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga**. 1. Ed. Brasília: ISPN/ ICRAF, 2016.

MOREIRA, F. T. A. Avaliação de um sistema agroflorestal na região de Itaparica, semiárido pernambucano. 2018. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7378>. Acesso em: 06 nov. 2020.

MORGADO, I. B. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. 1. Ed. Petrolina: Embrapa – CPATSA, 1986.

MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G. Sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório sob influência de atividades de piscicultura no semiárido do Rio Grande do Norte. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 37, n. 8, p. 1283-1288, 2014. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140203>

NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers: ICRAF, 1993.

NASCIMENTO, I. S. B. *et al.* Características agronômicas de *Coriandrum sativum* L. sob a aplicação de sólidos sedimentados de tanque de piscicultura. In: III congresso internacional das ciências agrárias, 3, 2018, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: IFPB, 2018, p. 1-7. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00348>

NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. DE M; LOUREIRO; F. E. L. **Rochas e Minerais Industriais**. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008

NEMEC, A. F. L. **Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples**. 6. Ed. Columbia: Biometrics Information Handbook, 1996.

NIERI, E. M. *et al.* Potential agroforestry systems for semiarid regions. **Floresta**, Curitiba, v. 51, n. 2, p. 363-370, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v51i2.68962>

NOVAK, J. M. *et al.* Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks. **J Soils Sediments**, v. 14, n. 1, p. 330–343, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0680-8>

NOVELINI, L. Disponibilidade da radiação solar e eficiência de cultivos consorciados de milho safrinha e feijão. 2018. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, 2018. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/4208>. Acesso em: 12 abr. 2021.

NUNES, Y. R. F. *et al.* Aspectos ecológicos da Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão- Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 233–243, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200006>

OCKENDEN, M. C. *et al.* Keeping agricultural soil out of rivers: Evidence of sediment and nutrient accumulation within field wetlands in the UK, **Journal of Environmental Management**, v. 135, n. 1, 54-62, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.015>

OLIVEIRA, *et al.* Desempenho inicial de espécies arbóreas para sombreamento natural em sistema de integração pecuária-floresta. In: Encontro de Iniciação a Pesquisa da Embrapa Rondônia e Encontro de Pós-graduação, 11, 2021, Porto Velho. **Anais...** Rondônia: EMBRAPA, 2021, p.36-41. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/230845/1/cpafro-18701.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

OLIVEIRA, G. M. *et al.* Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.1, p. 32-43, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191945>

OLIVEIRA, F. P, *et al.* Caracterização da monodominância de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* fr. all.) no município de Tumiritinga - MG. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509814568>

OLIVEIRA, G. A, *et al.* Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma Cerrado. In: SOUSA, C. S.; LIMA, F. S.; SABIONI, S. C. (Org.) **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. 5. Ed. São Paulo: Editora Científica Digital, 2021, p. 355-366. <https://dx.doi.org/10.37885/210504459>

OLIVEIRA, M. T; PAGNUSSAT, A. Estudo de viabilidade econômico-financeira do plantio de eucalipto pelo sistema de silvipastoril: estudo de caso no Sítio Santa Luzia em Juína – MT. **Revista Científica da AJES**, v. 8, n. 17, p. 23-42, 2019. Disponível em: <https://revista.ajes.edu.br/index.php/rca/article/view/315/255>. Acesso em: 15 ago. 2021.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Análise geoespacial do processo de desmatamento da Caatinga no município de Catolé do Rocha – PB. **Revista Verde** v. 10, n. 2, p. 239-244, 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3924>. Acesso em: 10 abr. 2021

OLIVEIRA, V. R. **Crescimento de leguminosas arbóreas e rendimentos de milho e feijão-caupi em sistemas agroflorestais**. 2016. 130f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2016. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Tese-2016-VIANNEY-REINALDO-DE-OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ONS. **Operador nacional do sistema elétrico - Dados hidrológicos / vazões**. 2022. Disponível em: [https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados\\_hidrologicos\\_vazoes.aspx](https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_vazoes.aspx). Acesso em 10 jun. 2022

PADOVAN, M. P. *et al.* Redesenho de agroecossistema sob bases agroecológicas no Cone Sul de Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 8, 2011, Belém. **Anais...** Pará: EMBRAPA, 2011, p. 1-9. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50847/1/padovan-redesenho.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2022.

PAGANO, M. C. *et al.* Intercropping system of tropical leguminous species and *Eucalyptus camaldulensis*, inoculated with rhizobia and/or mycorrhizal fungi in semiarid Brazil. **Agroforest Syst**, v. 74, p. 231 -242, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9177-7>

PARRON, L. M. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1. Ed. Brasília: Embrapa Florestas, 2015.

PAUL, C. *et al.* Timber-based agrisilviculture improves financial viability of hardwood plantations: a case study from Panama. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 1, p. 217-235, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9755-9>

PEDROSO FILHO, J. I. *et al.* Avaliação econômica de projetos de florestamento com *Eucalyptus grandis* hill ex maiden implantado sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 240-248, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831577>

PEREIRA, A. C. M. *et al.* Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos "campos das vertentes" de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 5, n. 1, p.66-77, 2015. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i1.317>

PERON, J. A; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciênc. agrotec.**, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300023>

PORFÍRIO, S. T. B. **Produtividade de um clone de *Eucalyptus Urophylla* em função do espaçamento na região do polo gesseiro do Araripe**. 2018. 31f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2214> Acesso em: 15 Abr. de 2020

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. **Annals**, v. 80, n. 4, p. 902-927, 1993. <http://dx.doi.org/10.2307/2399937>

PUIATTI, M, *et al.* Crescimento e produtividade de inhame e de milho doce em cultivo associado. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 24-30, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/JcDs5TKCqvkrZptPbqPnhyd/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 2 abr. 2022.

QIAN, L.; CHEN, M; CHEN, B. Competitive adsorption of cadmium and aluminum in fresh and oxidized biochars during aging processes. **J. Soils Sediments**, v. 15, n. 1, p. 1130–1138, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1073-y>

RAMALHO, W. B. *et al.* Desempenho econômico do consórcio de coentro com beterraba, adubados com doses de jirirana, combinada com esterco bovino. **Revista Verde**, v. 11, n.1, p. 78-83, 2016. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4497>. Acesso em: 10 abr. 2021

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. Ed. Viçosa: UFV, 2008.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais para o desenvolvimento sustentável do semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Colombo. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1994, p. 149-158.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. 1. Ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

ROCHA, K. R; BACELAR JÚNIOR, A. J. Anova medidas repetidas e seus pressupostos: análise passo a passo de um experimento. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v.10, n. 1, p. 29-51, 2018. <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2018.v10.p.29-51>

RODORFF, V. *et al.* Governança da bacia hidrográfica do Rio São Francisco: Desafios de escala sob olhares inter e transdisciplinares. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36, v. 1, p. 19-44, 2015. <http://dx.doi.org/10.5327/Z2176-947820151003>



SABATIA, C.O.; BURKHART, H.E. Competition among loblolly pine trees: Does genetic variability of the trees in a stand matter? **Forest Ecology and Management**, v. 263, n. 1, p. 122–130, 2012. <https://oi.org/10.1016/j.foreco>

SALTON, J. C. *et al.* **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. 1. Ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005.

SANTANA, M. J. S. **Desafios Da Assistência Técnica E Extensão Rural Agroecológica No Desenvolvimento Sustentável Do Semiárido Baiano**. 2018. 48f. Monografia (Especialização Em Gestão Ambiental Em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22828>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SANTOS, B. M. *et al.* Quantification and Localization of Formylated Phloroglucinol Compounds (FPCs) in Eucalyptus Species. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 1, p. a186, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00186>

SANTOS, C. T. B, *et al.* Evaluation of Vegetation Health Index behavior in the diagnosis of droughts in the Brazilian Northeast. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e54011427890, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27890>

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Cienc. Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>

SANTOS, J. L. G.; SOUZA, D. D. O mandacaru como fonte alimentar para caprinos no período de seca no semiárido. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 5, p. 5-14, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/319877773\\_O\\_mandacaru\\_como\\_fonte\\_alimentar\\_para\\_caprinos\\_no\\_periodo\\_de\\_seca\\_no\\_Semiarido](https://www.researchgate.net/publication/319877773_O_mandacaru_como_fonte_alimentar_para_caprinos_no_periodo_de_seca_no_Semiarido). Acesso em: 22 mar. 2022.

SANTOS, M. J. C. *et al.* Economicidade de consórcio do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) e produção de lenha (Eucalipto) em agroflorestal na agricultura familiar. In: Congresso brasileiro de sistemas agroflorestais: Saf- aprendizado, desafios e perspectivas, 10, 2016, Cuiabá. **Anais...** SAF: UFMT, 2016.

SANTOS, M. A. *et al.* Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão de corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. **Revista**

**Agroambiente on-line**, v. 10, n. 3, p. 201-208, 2016. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/3286/2065>. Acesso em: 02 mar. 2021.

SANTOS, M. M. *et al.* Crescimento inicial de eucalipto consorciado com feijão-Caupi. **Cultura Agrônoma**, v. 27, n. 1, p.57-66, 2018. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n1p57-66>

SANTOS, M; PAIVA, S. Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. **Revista Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 135-141, 2002. <https://doi.org/10.5902/198050981707>

SANTOS, R. C. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais na região de Itaparica**. 2016. 97f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016. Disponível em: <http://www.tede2.ufupe.br:8080/tede2/handle/tede2/5023>. Acesso em: 02 abr. 2021

SANTOS, S. R. *et al.* Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 1, p. e025718, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943025718>

SCHEMBERGUE, A, *et al.* Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 55, n. 1, p. 9-30, Jan, 2017. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>

SCHREIBER, F. H. R. *et al.* Caracterização da piscicultura na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 27257–27275, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-436>

SCHUMACHER, M. V. *et al.* Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (bentham) brenan). **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000100019>

SCOTT, P. Reassentamento, Saúde e Insegurança em Itaparica: um modelo de vulnerabilidade em projetos de desenvolvimento. **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 74-89, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902006000300007>

SEDNET. **Sediment, a vulnerable resource that needs Europe's attention**. Lisboa: European Sediment Reserch Network, 2004.



SELGE, F.; GUNKEL, G. Water reservoir: worldwide distribution, morphometric characteristics and thermal stratification process. In: GUNKEL, G.; SILVA, J. A. A. Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas. Recife: Editora Universitaria UFPE, 2013, p.15-27.

SESERMAN, D. M. *et al.* Benefits of agroforestry systems for land equivalent ratio case studies in brandenburg and lower saxony, Germany. In: European Agroforestry Conference Agroforestry as Sustainable Land Use, 4, 2018, Nijmegen. **Anais...** The Netherlands, 2018, p 26-29. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/250590018.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2022.

SILVA FILHO, L.J.; CAMPOS, M.F.D. O uso da média móvel como indicador de tendência: do mercado financeiro ao acompanhamento dos casos de covid-19. **Revista Negócios em Projeção**. v. 12, n. 2, p. 81, 2021. Disponível em: <https://revista.faculdadeprojecao.edu.br/index.php/Projecao1/article/view/1747/1466>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de Eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe-Pernambuco. Recife, **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônomicas**, v. 5-6, n. 1, p. 301-319, 2008-2009.

SILVA, J. A. A. Produtividade volumétrica de clones de *Eucalyptus* Spp. no polo gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, n. 1, p. 240-260, 2013. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/314/323>. Acesso em: 09 jun. 2021.

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. **Rev. Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600012>

SILVA, M. L; JACOVINE, L. A. G; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. Ed. Viçosa: UFV, 2008.

SILVA, T. T. *et al.* Performance econômica e ambiental de agricultura agroflorestal e convencional no município de Nova Olinda-CE. **Revista Verde**, v. 10, n. 5, p. 85-91, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142048/1/Art.-Drumond.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2021.

SILVA, J. A. **Fitossociologia e relações alométricas em Caatinga nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte**. 2005. 81f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9339>. Acesso em: 5 nov. 2022.

SILVA, *et al.* Fertilidade do solo em sistema agroflorestal no sul do estado do Tocantins. **Cadernos de Agroecologia** –Vol 6, No. 2, Dez, 2011. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/11812/8139>. Acesso em: 10 mar 2021

SINGH, B. P. *et al.* Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. **J. Environ. Qual.**, v. 39, n. 1, p. 1224-1235, 2010. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0138>

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

SKIADAREISIS, G. *et al.* Groundwater Extraction in Floodplain Forests Reduces Radial Growth and Increases Summer Drought Sensitivity of Pedunculate Oak Trees (*Quercus robur* L.). **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 2, n. 5, 2019. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00005>

SORIA, L. G. T. **Produtividade do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada**. 2002. 182f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-04042003-165152/publico/luis.pdf>. Acesso em: 30 out. 2022.

SOUSA, P. F, *et al.* Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de Caatinga, São José de Espinharas PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1330, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509825152>

SOUZA, A.G.V, *et al.* Degradação dos solos de agricultura intensiva, diagnóstico e métodos de recuperação. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 23-29, 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9721/7320>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. **ABCustos**, v. 2, n. 1, p. 60-82, 2007. <https://doi.org/10.47179/abcustos.v2i1.14>

SOUZA, L. Q. *et al.* How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 1. Trees and shrubs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 94, n. 1, p.171-179, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9531-z>

THEODORO, S. H. *et al.* The use of accumulated sediments in the Tucuruí and Três Marias dams to recover degraded soils. In: GUNKEL, G; SOBRAL, M. **Reservoir and river basin management: exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany**. 1. Ed. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2007, p. 211-225.

TONINI, H, *et al.* Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. **CERNE**, v. 12, n. 1, p. 8-18, 2006. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74412102>. Acesso em: 09 abr. 2020.

TONINI, H, *et al.* Technical thinning age of eucalyptus trees grown in crop-forest integration systems. **Pesq. agropec. bras.** v. 54, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00648>

TORRES, C. M. M. E. *et al.* Estimativas da produção e propriedades da madeira de eucalipto em Sistemas Agroflorestais. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 137-148, 2016. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.13>

TRAZZI, P. A, *et al.* Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832128>

TURKAY T.; BEKIROĞLU, S.; TOLUNAY, A. Sustainable goat production in Turkey: Current situation and solution proposals. **Turkish Journal of Forestry**, v. 17, n. 2, p. 99-106, 2016. <https://doi.org/10.18182/tjf.49645>

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da zona da mata de Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/9319>. Acesso em: 02 jun. 2020.

VERA CRUZ, M.S.F, *et al.* Maturidade de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 515-532, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509835444>

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 225-231, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100024>

VIEIRA, *et al.* Uma abordagem multivariada em experimento silvipastoril com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 333-342, 2007. <https://doi.org/10.5902/198050981965>

VIRGENS A. P.; FREITAS L. C.; LEITE A. M. P. Análise Econômica e de Sensibilidade em um Povoamento Implantado no Sudoeste da Bahia. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 211-219, 2016. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.104914>

VITALE, V; MIRANDA, G. M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região centro-sul do paraná. **FLORESTA**, v. 40, n. 3, p. 469-476, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/18908/12226>. Acesso em: 11 nov. 2022.

VIVALDI, L.J. **Análise de experimentos com dados repetidos ao longo do tempo ou espaço**. Planaltina: Embrapa-CPAC,1999.

WALTER, K.; GUNKEL, G; GAMBOA, N., An assessment of sediment reuse for sediment management of Gallito Ciego Reservoir, Peru. **Lakes & Reservoir: Research and Management**, v. 17, n. 1, p. 310-314, 2012. <https://doi.org/10.1111/lre.12008>

WATZLAWICK, L.F.; BENIN. C.C. Variáveis dendrométricas e produção de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.6, p. 111-120, Nov-Dez, 2020

WEIMANN, C; FARIAS, J. A; DEPONTI, G. Viabilidade econômica do componente arbóreo de sistema agrossilvipastoril comparado ao de plantio florestal na pequena propriedade rural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 429-436, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.92.1147>

## 8 - APÊNDICES

**Apêndice 1:** Resultado do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, em relação aos volumes médios por hectare das espécies arbóreas ao longo do tempo

T6		T7		T8		T9	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	7,50 a	MA2001	13,43 a	MA2001	17,02 a	MA2001	20,86 a
MA2000	4,00 b	MA2000	8,71 b	MA2000	11,53 b	MA2000	15,51 b
ANGICO	0,57 c	ANGICO	1,20 c	ANGICO	2,41 c	ANGICO	3,90 c
AROEIRA	0,12 d	AROEIRA	0,19 d	AROEIRA	0,24 d	AROEIRA	0,33 d
T10		T11		T12		T13	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	23,34 a	MA2001	24,46 a	MA2001	27,41 a	MA2001	28,86 a
MA 2000	18,69 b	MA2000	19,44 b	MA2000	21,39 b	MA2000	22,31 b
ANGICO	5,05 c	ANGICO	7,23 c	ANGICO	16,63 c	ANGICO	18,00 c
AROEIRA	0,40 d	AROEIRA	0,66 d	AROEIRA	1,41 d	AROEIRA	1,42 d
T14		T15		T16		T17	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	36,56 a	MA2001	44,60 a	MA2001	54,04 a	MA2001	67,45 a
MA2000	27,19 b	MA2000	34,19 b	MA2000	41,66 b	MA2000	53,95 b
ANGICO	19,46 c	ANGICO	27,35 c	ANGICO	34,85 c	ANGICO	44,45 c
AROEIRA	2,36 d	AROEIRA	3,66 d	AROEIRA	5,55 d	AROEIRA	7,65 d
T18		T19		T20		T21	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	79,16 a	MA2001	95,33 a	MA2001	116,02 a	MA2001	123,61 a
MA2000	64,19 b	MA2000	78,65 b	MA2000	91,96 b	MA2000	95,66 b
ANGICO	49,57 c	ANGICO	57,84 c	ANGICO	66,70 c	ANGICO	73,70 c
AROEIRA	8,91 d	AROEIRA	10,86 d	AROEIRA	12,78 d	AROEIRA	16,82 d

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 2:** Resultado do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, em relação aos volumes médios por hectare das espécies arbóreas ao longo do tempo em função das adubações

<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>		<b>T9</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
P	4,17 a	P	6,59 a	P	8,65 a	P	11,11 a
S	3,28 ab	S	6,22 a	S	8,16 a	S	10,63 a
B	2,95 b	B	5,58 b	B	7,47 b	B	9,78 b
T	2,61 c	T	5,12 b	T	6,89 b	T	9,08 b
<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>		<b>T13</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	12,36 a	S	13,46 a	S	16,54 a	S	17,11 a
P	12,13 a	P	13,25 ab	P	16,37 ab	P	16,87 a
B	11,51 a	B	12,59 ab	B	15,61 ab	B	16,16 a
T	11,48 a	T	12,49 b	T	15,31 b	T	15,90 a
<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>		<b>T17</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	22,19 a	S	28,28 a	S	35,04 a	S	45,06 a
P	22,04 a	P	28,21 a	P	34,72 a	P	42,28 ab
B	20,95 ab	B	26,96 a	B	33,57 a	B	42,56 b
T	20,40 b	T	26,33 a	T	32,75 a	T	41,61 b
<b>T18</b>		<b>T19</b>		<b>T20</b>		<b>T21</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	54,01 a	S	64,65 a	S	74,18 a	T	77,83 a
P	53,17 a	P	63,53 a	P	73,43 a	S	77,76 a
B	47,89 b	B	58,37 b	T	70,11 a	P	77,53 a
T	46,75 b	T	56,13 b	B	69,74 a	B	76,67 a

Em que: P = Resíduo de tanques de piscicultura; S = Sedimento do lago de Itaparica; B = Biocarvão; T = Testemunha.

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 3:** Resultado do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, em relação aos volumes médios das espécies arbóreas ao longo do tempo em função das diferentes formas de cultivos florestais

T6		T7		T8		T9	
Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
1	7,56 a	1	11,61 a	1	14,01 a	1	16,06 a
3	2,18 b	3	4,70 b	3	6,92 b	3	11,02 b
4	1,23 c	4	4,30 b	4	6,68 b	4	9,10 c
2	1,23 c	2	2,89 c	2	3,58 c	2	4,42 d
T10		T11		T12		T13	
Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
1	17,32 a	1	18,25 a	3	22,58 a	3	23,27 a
3	14,16 b	3	16,34 b	1	20,75 b	1	21,32 b
4	10,96 c	4	11,89 c	4	14,48 c	4	16,88 c
2	5,03 d	2	5,30 d	2	6,01 d	2	6,38 d
T14		T15		T16		T17	
Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
3	31,84 a	3	41,82 a	3	50,33 a	3	63,13 a
1	26,18 b	1	32,16 b	1	39,68 b	1	49,50 b
4	19,29 c	4	24,74 c	4	30,75 c	4	39,02 c
2	8,25 d	2	11,07 d	2	15,32 d	2	21,85 d
T18		T19		T20		T21	
Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Formas de cultivo	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
3	71,02 a	3	82,61 a	3	96,23 a	3	97,46 a
1	58,63 b	1	71,68 b	1	83,03 b	1	93,62 a
4	45,33 c	4	54,10 c	4	65,45 c	4	69,91 b
2	26,82 d	2	34,28 d	2	42,75 d	2	49,11 c

Em que: 1 = Monocultivo 4mx2m; 2 = Monocultivo 4mx2m; 3 = SAF com capim Tanzânia 4mx2m; 4 = SAF com Feijão Caupi 4mx2m.

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade



**Apêndice 4:** Resultado do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, em relação aos volumes médios por hectare das espécies arbóreas ao longo do tempo, desconsiderando o monocultivo 4mx2m

<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>		<b>T9</b>	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	9,35 a	MA2001	16,66 a	MA2001	21,51 a	MA2001	26,57 a
MA2000	4,37 b	MA2000	9,02 b	MA2000	11,87 b	MA2000	16,19 b
ANGICO	0,75 c	ANGICO	1,56 c	ANGICO	3,13 c	ANGICO	5,04 c
AROEIRA	0,16 d	AROEIRA	0,25 d	AROEIRA	0,31 d	AROEIRA	0,44 d
<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>		<b>T13</b>	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	29,81 a	MA2001	31,33 a	MA2001	32,75 a	MA2001	41,31 a
MA 2000	19,73 b	MA2000	20,63 b	MA2000	21,47 b	MA2000	26,39 b
ANGICO	6,52 c	ANGICO	9,19 c	ANGICO	11,82 c	ANGICO	20,56 c
AROEIRA	0,53 d	AROEIRA	0,83 d	AROEIRA	1,12 d	AROEIRA	2,28 d
<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>		<b>T17</b>	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	46,85 a	MA2001	57,12 a	MA2001	68,82 a	MA2001	85,46 a
MA2000	29,51 b	MA2000	37,15 b	MA2000	44,42 b	MA2000	56,59 b
ANGICO	23,89 c	ANGICO	33,06 c	ANGICO	41,31 b	ANGICO	51,41 c
AROEIRA	2,84 d	AROEIRA	4,30 d	AROEIRA	6,47 c	AROEIRA	8,73 d
<b>T18</b>		<b>T19</b>		<b>T20</b>		<b>T21</b>	
Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Espécies	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
MA2001	100,03 a	MA2001	120,13 a	MA2001	145,76 a	MA2001	150,59 a
MA2000	66,30 b	MA2000	80,07 b	MA2000	91,86 b	MA2000	95,99 b
ANGICO	57,00 c	ANGICO	65,79 c	ANGICO	74,65 c	ANGICO	82,40 c
AROEIRA	9,97 d	AROEIRA	11,85 d	AROEIRA	14,00 d	AROEIRA	18,59 d

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 5:** Resultado do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, em relação aos volumes médios por hectare das espécies arbóreas ao longo do tempo em função das adubações, desconsiderando o monocultivo 4mx2m

<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>		<b>T9</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
P	4,10 a	P	7,69 a	P	10,17 a	P	13,19 a
S	3,87 ab	S	7,24 a	S	9,59 a	S	12,53 ab
B	3,51 b	B	6,50 b	B	8,78 b	B	11,62 b
T	3,15 c	T	6,06 b	T	8,28 b	T	10,92 c
<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>		<b>T13</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	14,61 a	S	16,01 a	S	17,36 a	S	23,50 a
P	14,38 a	P	15,78 a	P	17,13 a	P	23,16 ab
B	13,84 a	B	15,13 a	B	16,45 a	B	22,35 ab
T	13,76 a	T	15,06 a	T	16,24 a	T	21,53 a
<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>		<b>T17</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	26,83 a	S	33,95 a	S	41,33 a	S	52,36 a
P	26,39 ab	P	33,73 a	P	41,11 a	P	51,76 ab
B	25,49 ab	B	32,63 a	B	40,22 a	B	50,02 ab
T	24,38 b	T	31,32 a	T	38,37 a	T	48,07 b
<b>T18</b>		<b>T19</b>		<b>T20</b>		<b>T21</b>	
Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha	Adubação	$\bar{Vol}$ m <sup>3</sup> /ha
S	62,18 a	S	73,56 a	S	84,43 a	T	88,85 a
P	61,86 a	P	73,46 a	P	83,36 a	S	87,78 a
B	55,67 b	B	67,16 b	T	79,45 a	P	87,42 a
T	53,61 b	T	63,68 b	B	79,06 a	B	83,53 a

Em que: P = Resíduo de tanques de piscicultura; S = Sedimento do lago de Itaparica; B = Biocarvão; T = Testemunha.

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 6:** Teste Tukey em relação produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão Caupi ao longo do tempo em função das diferentes formas de cultivos florestais

<b>T1</b>		<b>T2</b>		<b>T3</b>		<b>T4</b>	
Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>
1	1162,31 a	1	1091,60 a	1	1051,17 a	1	1010,55 a
5	1083,30 ab	4	923,93 ab	5	1022,26 a	5	884,96 ab
2	1040,43 ab	5	886,04 ab	4	1017,19 a	4	807,03 bc
4	1032,23 ab	2	830,96 b	2	869,14 ab	2	790,04 bc
3	986,23 b	3	734,96 b	3	686,91 b	3	703,52 c
<b>T5</b>		<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>	
Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>
1	1021,29 a	1	842,58 a	1	853,13 a	1	930,47 a
5	760,55 b	5	821,49 ab	5	789,46 ab	5	758,79 b
4	721,68 bc	4	707,61 bc	4	705,08 b	4	604,69 c
2	654,79 bc	2	629,88 c	2	540,82 c	2	336,92 d
3	574,51 c	3	469,73 d	3	504,10 c	3	257,03 d
<b>T9</b>		<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>	
Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>
5	905,28 a	5	775,58 a	1	764,36 a	1	653,99 a
1	840,23 a	1	744,34 a	5	508,98 b	5	393,89 b
4	600,48 b	4	510,55 b	4	301,22 c	4	209,15 b
2	343,16 c	2	363,09 bc	2	191,16 cd	2	95,03 c
3	167,19 d	3	252,93 c	3	131,71 d	3	65,85 c
<b>T13</b>		<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>	
Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	kg.ha <sup>-1</sup>
1	695,36 a	1	636,66 a	1	435,07 a	1	679,02 a
5	265,59 b	5	211,12 b	5	127,93 b	5	121,17 b
4	117,08 bc	4	0 c	4	0 c	4	0 c
2	0 c	2	0 c	2	0 c	2	0 c
3	0 c	3	0 c	3	0 c	3	0 c

Em que: 1 = Monocultivo; 2 = SAF com MA 2001; 3 = SAF com MA 2000; 4 = SAF com Angico; 5 = SAF com Aroeira

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 7:** Teste Tukey em relação produtividade média (kg.ha<sup>-1</sup>) do feijão Caupi ao longo do tempo em função das diferentes adubações

<b>T1</b>		<b>T2</b>		<b>T3</b>		<b>T4</b>	
Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>
P	1222,66 a	P	1064,92 a	P	1152,97 a	P	1024,38 a
S	1097,42 ab	S	938,91 ab	S	1002,11 a	S	822,35 b
T	971,56 bc	B	791,25 b	T	791,09 b	B	814,06 b
B	951,95 c	T	778,91 b	B	771,17 b	T	696,09 b
<b>T5</b>		<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>	
Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>
P	863,60 a	P	835,16 a	P	790,47 a	P	733,28 a
S	780,47 ab	S	730,24 b	S	727,66 a	S	638,91 a
T	689,46 b	T	613,28 c	T	613,75 b	B	493,75 b
B	652,73 b	B	598,52 c	B	582,19 b	T	444,38 b
<b>T9</b>		<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>	
Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>
P	729,53 a	P	613,60 a	P	567,84 a	P	438,90 a
S	659,53 a	S	574,22 ab	S	394,06 b	S	283,18 ab
B	452,97 b	B	530,31 ab	B	353,32 b	B	260,18 b
T	443,28 b	T	399,06 b	T	202,73 c	T	152,07 b
<b>T13</b>		<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>	
Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>	Adubações	kg.ha <sup>-1</sup>
P	338,71 a	P	232,88 a	P	169,91 a	P	240,40 a
S	222,03 ab	S	177,34 ab	B	108,98 ab	B	155,55 ab
B	177,81 ab	B	168,91 ab	S	99,92 ab	S	141,56 ab
T	123,87 b	T	99,09 b	T	71,57 b	T	102,65 b

Em que: P = Resíduo de tanques de piscicultura; S = Sedimento do lago de Itaparica; B = Biocarvão; T = Testemunha.

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 8:** Teste Tukey em relação produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia ao longo do tempo em função das diferentes formas de cultivos florestais

T1		T2		T3		T4	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
1	9,59 a	1	8,78 a	1	7,99 a	1	7,45 a
4	4,75 b	4	4,56 b	3	4,18 b	3	3,90 b
3	4,69 b	3	4,43 b	4	4,17 b	4	3,87 b
5	4,19 b	2	4,04 b	5	3,89 b	5	3,68 b
2	4,14 b	5	4,04 b	2	3,83 b	2	3,41 b
T5		T6		T7		T8	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
1	6,92 a	1	6,31 a	1	6,22 a	1	5,74 a
5	3,68 b	5	3,59 b	5	3,48 b	5	3,39 b
4	3,60 b	4	3,47 b	4	3,28 b	4	3,10 bc
3	3,53 b	3	3,27 b	2	3,05 b	2	2,87 c
2	3,09 b	2	2,89 b	3	2,95 b	3	2,75 c
T9		T10		T11		T12	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
1	5,52 a	1	5,02 a	1	4,70 a	1	4,32 a
5	3,14 b	5	3,10 b	5	2,91 b	5	2,46 b
4	2,99 bc	4	2,97 b	4	2,73 bc	4	2,39 b
2	2,65 c	2	2,44 c	2	2,14 bc	2	2,33 b
3	2,57 c	3	2,23 c	3	1,66 c	3	2,00 b
T13		T14		T15		T16	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
1	3,89 a	1	3,61 a	5	3,17 a	5	2,38 a
4	3,55 ab	4	3,20 ab	4	3,09 a	1	2,21 ab
5	2,93 b	5	3,10 b	1	2,88 a	4	1,85 b
2	1,76 c	3	1,23 c	2	0,52 b	2	0,82 c
3	1,19 c	2	1,04 c	3	0,36 b	3	0,42 d
T17		T18		T19		T20	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
5	2,89 a	5	3,14 a	5	3,40 a	5	3,13 a
1	2,73 a	1	2,98 a	1	3,24 ab	4	2,81 a
4	2,02 b	4	2,09 b	4	2,18 bc	1	2,55 a
2	0,67 c	2	0,98 c	2	1,35 cd	2	1,52 b
3	0,47 c	3	0,50 c	3	0,75 d	3	0,30 c
T21		T22		T23		T24	
Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>	Formas de cultivo	T.ha <sup>-1</sup>
5	2,83 a	5	3,58 a	5	3,64 a	5	3,69 a
4	2,49 a	1	3,37 a	1	3,21 a	1	3,39 a
1	2,23 a	4	3,34 a	4	2,21 b	4	2,33 b
2	0,36 b	2	0,39 b	2	0,87 c	2	1,57 b

### Apêndice 8: Continuação

3		0,08 b		3		0 b		3		0 c		3		0 b	
<b>T25</b>				<b>T26</b>				<b>T27</b>				<b>T28</b>			
Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>	
5		3,81	a	5		3,30	a	5		2,75	a	5		3,03	a
1		3,65	a	1		2,57	a	1		2,05	b	1		2,84	a
4		1,97	b	4		1,15	b	4		1,03	c	4		0,98	b
2		0,69	c	2		0,71	bc	2		0	d	2		0	c
3		0	c	3		0	c	3		0	d	3		0	c
<b>T29</b>				<b>T30</b>				<b>T31</b>				<b>T32</b>			
Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>		Formas de cultivo		T.ha <sup>-1</sup>	
5		3,49	a	5		3,36	a	5		3,68	a	5		1,89	a
1		3,05	a	1		2,85	b	1		2,31	b	1		0,84	b
4		1,34	b	4		0,68	c	4		0	c	4		0	c
2		0	c	2		0	d	2		0	c	2		0	c
3		0	c	3		0	d	3		0	c	3		0	c

Em que: 1 = Monocultivo; 2 = SAF com MA 2001; 3 = SAF com MA 2000; 4 = SAF com Angico; 5 = SAF com Aroeira

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

**Apêndice 9:** Teste Tukey em relação produtividade média (t.ha<sup>-1</sup>) do capim Tanzânia ao longo do tempo em função das diferentes adubações

<b>T1</b>		<b>T2</b>		<b>T3</b>		<b>T4</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	6,36 a	P	5,87 a	P	5,54 a	P	5,06 a
S	5,35 ab	S	5,17 ab	S	4,71 ab	S	4,46 ab
T	5,10 b	T	4,93 ab	T	4,56 b	T	4,19 b
B	5,09 b	B	4,72 b	B	4,46 b	B	4,12 b
<b>T5</b>		<b>T6</b>		<b>T7</b>		<b>T8</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	4,71 a	P	4,32 a	P	4,20 a	P	3,93 a
S	4,15 ab	S	3,83 b	S	3,74 ab	S	3,49 b
T	3,92 b	T	3,79 b	T	3,67 b	T	3,44 b
B	3,88 b	B	3,68 b	B	3,58 b	B	3,42 b
<b>T9</b>		<b>T10</b>		<b>T11</b>		<b>T12</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	3,79 a	P	3,62 a	P	3,34 a	P	2,98 a
S	3,33 b	T	3,19 b	T	2,83 ab	S	2,72 a
T	3,21 b	B	2,90 b	B	2,62 b	T	2,57 a
B	3,16 b	S	2,89 b	S	2,51 b	B	2,54 a
<b>T13</b>		<b>T14</b>		<b>T15</b>		<b>T16</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	2,91 a	P	2,71 a	P	2,31 a	P	1,73 a
S	2,68 a	T	2,38 a	B	1,91 ab	T	1,55 a
T	2,56 a	S	2,36 a	T	1,91 ab	B	1,45 a
B	2,52 a	B	2,31 a	S	1,90 b	S	1,41 a
<b>T17</b>		<b>T18</b>		<b>T19</b>		<b>T20</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	1,87 a	T	2,00 a	S	2,28 a	T	2,08 a
T	1,83 a	P	1,98 a	T	2,18 a	P	2,07 a
S	1,76 a	S	1,97 a	B	2,16 a	S	2,06 a
B	1,57 a	B	1,80 a	P	2,11 a	B	2,03 a
<b>T21</b>		<b>T22</b>		<b>T23</b>		<b>T24</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
B	1,86 a	P	2,35 a	B	2,23 a	B	2,61 a
P	1,64 a	T	2,14 a	P	1,92 a	S	2,30 a
S	1,48 a	S	2,03 a	T	1,91 a	T	2,02 a
T	1,41 a	B	2,02 a	S	1,88 a	P	1,85 a
<b>T25</b>		<b>T26</b>		<b>T27</b>		<b>T28</b>	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
P	2,40 a	T	1,49 a	S	1,26 a	P	1,61 a
B	2,30 a	P	1,39 b	P	1,18 a	T	1,52 a
S	2,00 ab	B	1,33 b	T	1,16 a	B	1,20 a
T	1,40 b	S	1,17 b	B	1,07 a	S	1,15 a

**Apêndice 9: Continuação**

T29		T30		T31		T32	
Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>	Adubações	T.ha <sup>-1</sup>
B	1,80 a	P	1,54 a	P	1,30 a	B	0,59 a
P	1,77 a	B	1,52 a	B	1,23 a	S	0,56 a
S	1,42 a	S	1,23 a	T	1,20 a	P	0,52 a
T	1,33 a	T	1,22 a	S	1,05 a	T	0,51 a

Em que: P = Resíduo de tanques de piscicultura; S = Sedimento do lago de Itaparica; B = Biocarvão; T = Testemunha.

\* Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade



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	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

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)

**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	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	15,9	91	0,00	5,36	1,50	406	30,51

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)

**Anexo 3 - Análise química 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	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	23,3	90	0,47	7,27	2,90	20	62,78

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)

**Anexo 4 - Análise química 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	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	26,5	79	0,47	5,31	2,80	30	63,79

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)

**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 <sub>eff</sub> (mol.DS <sup>-1</sup> )
< 2 mm	9,05	96,85	0,37	73,15	4,10	2,50	23,12

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)

**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 <sub>eff</sub> (mol.DS <sup>-1</sup> )
< 2 mm	8,06	96,77	0,39	73,36	4,30	2,30	23,15

Fonte: (SANTOS 2016 e MOREIRA, 2018)