

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

**LAÍS DA SILVA MAGEVSKI**

**DESENVOLVIMENTO E FISIOLOGIA DE ESPÉCIES NATIVAS DO  
BIOMA MATA ATLÂNTICA NA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS  
IMPACTADAS PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA**

Vitória, ES  
Outubro, 2022

**LAÍS DA SILVA MAGEVSKI**

**DESENVOLVIMENTO E FISILOGIA DE ESPÉCIES NATIVAS DO  
BIOMA MATA ATLÂNTICA NA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS  
IMPACTADAS PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto  
Coorientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniela Cassol e  
Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires

Vitória, ES  
Outubro, 2022

# DESENVOLVIMENTO E FIOLOGIA DE ESPÉCIES NATIVAS DO BIOMA MATA ATLÂNTICA NA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS IMPACTADAS PELA EXTRAÇÃO DE ARGILA

LAÍS DA SILVA MAGEVSKI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

\_\_\_\_\_ em 25 de outubro de 2022.

## Comissão Examinadora

**Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires (UFES)**  
Coorientador e Presidente da Comissão

**Profª. Drª. Diolina Moura Silva (UFES)**  
Examinadora Interna

**Profª. Drª. Elisa Mitsuko Aoyama (UFES)**  
Examinadora Externa

*LEILA BEATRIZ SILVA CRUZ*  
LEILA BEATRIZ SILVA CRUZ

**Profª. Drª. Leila Beatriz Silva Cruz (PETROBRÁS)**  
Examinadora Externa



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

## PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por FABIO RIBEIRO PIRES - SIAPE 1546021 Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB/CEUNES Em 25/10/2022 às 16:02

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/591109?tipoArquivo=O>

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida e por todas as pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho. Obrigada por nunca soltar a minha mão e me guiar em todos os momentos.

À Petrobras pela parceria e financiamento do projeto. À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal pela oportunidade de obter através do curso o título de Mestre. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Prof. Dr<sup>o</sup>. Antelmo Ralph Falqueto pela oportunidade de aprender com o Senhor e poder realizar este trabalho. Obrigada pela paciência, pela confiança, pelos conselhos, pelas oportunidades, pela disponibilidade e principalmente por acreditar em mim. O senhor é um exemplo de profissional e pessoa.

Aos meus coorientadores Prof. Dr<sup>o</sup>. Fábio Ribeiro Pires por todo o suporte e a Dr<sup>a</sup> Daniela Cassol pela paciência e disponibilidade em me ensinar a trabalhar a estatística através do R.

Ao meu colega Marcel por dividir comigo os dados coletados por ele, e também por estar disponível em me ajudar durante todo o meu mestrado.

Ao meu marido Pablo, pelo apoio incondicional, e pela paciência.

Obrigada!

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT). .....26

**Figura 2:** Gráfico de geração da análise de componentes principais considerando todos os parâmetros ecofisiológicos, as variáveis fotoquímicas (ABS/RC, DI<sub>o</sub>/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC, PI/abs, φP<sub>o</sub>, φE<sub>o</sub>, φD<sub>o</sub>), índice de clorofila, características foliares, atributos químicos do solo [fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), magnésio (Mg), cálcio (Ca) acidez potencial (H+AL) pH] para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT). .....27

**Figura 3:** Ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT). .....36

**Figura 4:** Gráfico de geração da análise de componentes principais considerando todos os parâmetros ecofisiológicos, as variáveis fotoquímicas (ABS/RC, DI<sub>o</sub>/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC, PI/abs, φP<sub>o</sub>, φE<sub>o</sub>, φD<sub>o</sub>), índice de clorofila, características foliares, atributos químicos do solo [fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), magnésio (Mg), cálcio (Ca) acidez potencial (H+AL) pH] para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT).....37

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Fórmulas dos parâmetros do test-JIP obtidos a partir do transiente de fluorescência da clorofila *a* (O-K-J-I-P) de acordo com Strasser et al., (2004) e Chen et al., (2015).....23

**Tabela 2:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre o índice de Clr (Clr. *a*, Clr. *b* e Clr. total – Clorofila *a*, *b* e total, respectivamente) de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio.....29

**Tabela 3:** Parâmetros do teste JIP de para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença (+AV) ou ausência (-AV) do adubo verde semeado em Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT).....32

**Tabela 4:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre os atributos foliares [suculência (SUC), densidade (DEN) area foliar especifica (AFE) e coeficiente relativo de água (CRA)] de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio.....34

**Tabela 5:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura (Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)) sobre o índice de Clr (Clr. *a*, Clr. *b* e Clr. total – Clorofila *a*, *b* e total, respectivamente) de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio.....39

**Tabela 6:** Parâmetros do teste JIP de para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença (+AV) ou ausência (-AV) do adubo verde semeado em Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT).....40

**Tabela 7:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre os atributos foliares [suculência (SUC), densidade (DEN) area foliar especifica (AFE) e coeficiente relativo de água (CRA)] de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio.....42

## RESUMO

A extração de recursos naturais causa significativas modificações no equilíbrio dos ecossistemas. O processo de extração da argila devido à movimentação da terra e resulta em alterações físicas e químicas do ambiente levando à formação de taludes, expondo o solo a intempéries e oscilações de temperatura e umidade. Este estudo avaliou três técnicas de semeadura [biomanta (BIO), hidrossemeadura (HID) e sacos de juta (JUT)] associados a presença ou ausência de adubação verde (+AV e -AV respectivamente) para estabelecimento de 4 espécies nativas no processo de revegetação de um talude. Buscando avaliar a eficiência dos três tratamentos de plantio associados a adubação verde (AV) no desenvolvimento e fisiologia de espécies nativas utilizadas na revegetação de áreas impactadas. Pressupomos que a presença do adubo verde traz uma série de benefícios relacionados às qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, fornecendo às espécies melhores condições para seu desenvolvimento. As espécies estão distribuídas em dois grupos funcionais Fixadoras de nitrogênio (FN) ou não fixadoras de nitrogênio (NFN) e pioneiras (P) ou não pioneiras (NP). As espécies selecionadas são *Dalbergia ecastophyllum* (FN e P), *Inga laurina* (FN e NP), *Schinus terebinthifolia* (NFN e P) e *Psidium cattleianum* (NFN e NP). Foram avaliados os dados de fluorescência transiente da clorofila *a* (JIP-test), atributos foliares e Índice de clorofila (*a*, *b* e total) em conjunto com as análises químicas de solo, aos 6 e 12 meses após o plantio das mudas. Avaliando os resultados é possível notar que a utilização da adubação verde tem uma grande influência benéfica sobre *S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*, ambas não fixadoras de nitrogênio. O AV promoveu um aumento significativo nos parâmetros que refletem a eficiência fotoquímica ( $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$ , PI/abs) nas espécies não fixadoras de nitrogênio de forma similar nos três tipos de tratamento de semeadura avaliados. O aumento de parâmetros  $DI_o/RC$  e  $\phi D_o$  em -AV indicam a ativação de mecanismos de fotoproteção na ausência do adubo. Porém, seu efeito não é tão expressivo em *I. laurina* e *D. ecastophyllum*, espécies fixadoras de nitrogênio. *D. ecastophyllum* não teve sua eficiência fotoquímica afetada pelo adubo ou pelos tipos de semeadura. A espécie não pioneira *I. laurina*, por sua vez, apresentou diferença em alguns parâmetros do teste JIP indicando um aumento na absorção associada a uma maior captura ( $TR_o/RC$ ) de energia em -AV. O grupo funcional composto por plantas NFN obteve maior vantagem em +AV, com maior desenvolvimento e melhor desempenho fotoquímico. O grupo funcional formado pelas espécies FN obteve maior status nutricional em -AV. Contudo, a presença de AV não reduziu o seu desempenho fotoquímico. *D. ecastophyllum* (FN e P) foi a espécie com a menor relação de resultados significativos para o teste de media, indicando a sua adaptação em ambos os ambientes (+AV e -AV). Ao contrário, para *P. cattleianum* (NFN e NP) uma alta variação de resultados foi obtida quando comparamos a presença e ausência do AV, indicando que +AV beneficiou seu desenvolvimento.

**Palavras chave:** Talude • Técnicas de semeadura • Nutrientes • Teste JIP • Adubo Verde •

## ABSTRACT

A significant natural resources are not effective. The process of forming the temperature and ambient temperature operation, exposing the temperature and resulting in physical changes and temperature or soil adjustment, temperature and humidity fluctuations. This study evaluated three seeding techniques [bioblanket (BIO), hydroseeding (HID) and jute bags (JUT)] associated with the presence or absence of green manure (+AV and -AV respectively) for the establishment of 4 native species in the seeding process. revegetation of a slope. Seeking to evaluate the effectiveness associated with green planting (AV) treatments in the development and physiology of native species used in the recovery of impacted areas. We assume that the presence of green manure brings a series of benefits related to the physical, varietal and biological characteristics of the soil, meeting the conditions for its development. The species are distributed in two groups either non-pioneers (NPN) or unidentified pioneers (NPN) or non-pioneers (NP). The selected species are *Dalbergia ecastophyllum* (FN and P), *Inga laurina* (FN and NP), *Schinus terebinthifolia* (NPN and P) and *Psidium cattleianum* (NPN and NP). Chlorophyll a transient data (IP-test), chlorophyll attributes (a, and total) in chlorophyll dataset (a, and total) were evaluated together with soil fluorescence assessment, at 6 assessment data and soil evaluation, at 6 months after planting the seedlings. Evaluating the results that the use of green manure is significant. What increases the efficiency of the treatment is an increase in the photo (in the AV) that promote an increase in the photo, increasing the efficiency of the treatment and unfixed treatment in a similar way in the three types of treatment. The increase of DI/RC and  $\phi$  parameters in -AV indicate the detection of photoprotection mechanisms in the absence of dubbing. However, its effect is not so expressive in *I. laurina* *D. ecastum*, a specific that is so expressive in philosophy. *D. ecasto* did not have its efficiency by photochemistry, fertilizer or types of sowing. *I. laurina*, in turn, showed an increase in absorption associated with a higher capture (TRo/RC) in -AV in some JIP test parameters. The functional group composed of NPN plants had a greater advantage in +AV, with greater development and better photochemical performance. The functional group formed by the FN species obtained the highest nutritional status in -AV. However, the presence of AV does not affect its photochemical performance. *D. ep.* (FN and P) was the lowest ratio of results for both media test results, their adaptation in the species indicating environments (+AV and -AV). On the contrary, for *P. cattleianum* (NPN and NP) a high difference in results was obtained when comparing the presence and absence of AV, indicating that +AV benefited its development.

**Keywords:** Slope • Seeding techniques • Nutrients • JIP Test • Green Manure •

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 2.1 Reflexos da ação humana sobre o ambiente.....	12
2.2 Revegetação e adubo verde.....	13
2.3 Grupos funcionais.....	15
2.3.1 Fixadoras de Nitrogênio.....	16
2.3.2 Espécies pioneiras e não pioneiras.....	17
2.4 Ecofisiologia Vegetal.....	18
3. OBJETIVO GERAL.....	19
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
5.1 Sítio do estudo.....	20
5.2 Análise dos atributos químicos do solo.....	20
5.3 Delineamento experimental.....	21
5.4 Avaliações fisiológicas.....	22
5.4.1 Fluorescência transiente da clorofila a (JIP-test) .....	22
5.4.2 Atributos foliares.....	23
5.4.3 Índice de clorofila.....	24
5.5 Delineamento estatístico.....	24
6. RESULTADOS.....	24
6.1 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 6 meses da implantação do experimento.....	24
6.1.1 Análise Multivariada.....	24
6.1.2 Teste Tukey.....	28
6.1.2.1 Índice de clorofila.....	28
6.1.2.2 Fluorescência transiente da clorofila <u>a</u> .....	30
6.1.2.3 Atributos foliares.....	30
6.2 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 12 meses da implantação do experimento.....	35
6.2.1 Análise Multivariada.....	35

6.2.2 <i>Teste Tukey</i> .....	38
6.2.2.1 <i>Índice de clorofila</i> .....	38
6.2.2.2 <i>Fluorescência transiente da clorofila <u>a</u></i> .....	38
6.2.2.3 <i>Atributos foliares</i> .....	43
7. DISCUSSÃO.....	43
7.1 <i>Comportamento das espécies em relação ao adubo verde</i> .....	44
8. CONCLUSÕES.....	50
9. REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICES.....	61
APÊNDICE A – Área experimental inicial.....	62
APÊNDICE B – Tratamentos de semeadura aplicados na área: BIO (1), JUT (2) e HID (3).....	63
APÊNDICE C – Área do experimento 36 meses após o plantio.....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos extrativistas afetam direta e indiretamente a estrutura biológica do ambiente, comprometendo seu equilíbrio natural (MACHADO et al., 2013). Durante o processo de extração da argila para uso na instalação de bases de exploração de petróleo, a cobertura vegetal é retirada junto com as camadas mais superficiais, expondo os horizontes mais internos do solo (GOBINATH et al., 2022). A extração desses recursos causa significativas modificações no equilíbrio dos ecossistemas devido à movimentação da terra e resultam em alterações físicas e químicas do ambiente levando à formação de taludes. Taludes são recortes de terras, de inclinação variável, formadas artificialmente durante a extração de argila, expondo o solo a intempéries e oscilações de temperatura e umidade no decorrer do tempo (COUTO et al., 2010).

No processo de formação de taludes, a fertilidade natural do solo e a matéria orgânica são reduzidos, a erosão e a acidificação do solo são facilitadas (BASTOLA et al., 2018; CHEN et al., 2022; LIN et al., 2022). Como consequência, a exposição, a compactação e a degradação do solo resultantes da extração de argila dificulta ou até impossibilita o estabelecimento natural das plantas (COELHO; PEREIRA, 2006; REMAURY; GUITTONNY; RICKSON, 2019; SILVA et al., 2015; CHEN et al., 2022).

Nesse contexto, técnicas naturais e de engenharia, capazes de minimizar os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas de extração de argila, têm sido utilizadas (HOLANDA et al., 2009; COUTO et al., 2010). Porém, essas técnicas devem ser testadas e monitorados em ambientes diversos, pois a sua interação com as variações ambientais de cada região pode influenciar de forma positiva ou negativa no desempenho das plantas (ARAÚJO-FILHO; HOLANDA; ANDRADE, 2013; BISCHETTI; DI FI DIO; FLORINETH, 2014). Assim, diversos ensaios têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar a técnica mais eficiente durante o processo de revegetação do talude.

Dentre inúmeras opções disponíveis para auxiliar na revegetação de taludes, estão o uso de biomanta, da hidrossemeadura e dos sacos juta. Essas técnicas são utilizadas para a semeadura de espécies arbustivas, forrageiras, adubos verdes (AV), entre outras, que podem auxiliar na proteção do solo e no estabelecimento das espécies nativas. A biomanta consiste em

um biotêxtil, composto por palha e fibras de coco (ou outro material biodegradável, mas de elevada resistência) e costurados por fios degradáveis de polipropileno (GRAY; SOTIR, 1996; PETERSEN; ROUNDY; BRYANT, 2004). Uma vantagem do uso da biomanta é que ela cobre toda a área do terreno no qual foi fixada, reduzindo o impacto direto das chuvas sobre o solo. A técnica da hidrossemeadura é caracterizada pela pulverização de uma substância semelhante a um gel contendo as sementes e alguns compostos fertilizantes. Nesta técnica, um caminhão acoplado a uma motobomba em que o composto é jateado diretamente no talude é utilizado (AZAILA et al, 2016). Por sua vez, os sacos de juta foram preenchidos com solo e/ou matéria orgânica, fertilizantes e sementes de leguminosas e/ou gramíneas herbáceas, fixados através de estacas de madeira ou ganchos (MELO et al., 2013; LEITE DE LIMA; DAMATO; DE SOUZA, 2014). O uso de sacos de juta é uma alternativa muito difundida para a recuperação de taludes. Neste caso, o talude não é totalmente recoberto como ocorre nas outras duas técnicas, por serem instalados geralmente em forma de xadrez, mas o seu custo tende a ser menor.

A utilização de adubo verde tem sido uma alternativa para minimizar os danos abióticos causados ao ambiente exposto, melhorando os atributos químicos do solo, especialmente matéria orgânica. A adição de matéria orgânica no processo de recuperação do solo é importante, por favorecer os ciclos biogeoquímicos e contribuir para um bom crescimento das espécies arbóreas, resultante da ciclagem de nutrientes (FERREIRA NETO et al., 2017; MERLO MENDES et al., 2022), podendo até dispensar a utilização de adubos químicos no estabelecimento das espécies nativas, tornando, portanto, o processo de revegetação mais natural. Neste estudo, foram utilizadas espécies arbóreas pertencentes a dois grupos funcionais: (1) espécies capazes de fixar nitrogênio e (2) espécies pioneiras, com o objetivo de explicar como espécies fixadoras/não fixadoras de nitrogênio bem como espécies pioneiras e não pioneiras contribuem para os processos de revegetação utilizando técnicas de hidrossemeadura, biomanta e sacos de juta associados ao adubo verde em área de talude. Assim, para as três técnicas de semeadura avaliadas e os benefícios da sua associação com a adubação verde, os resultados apresentados nesse estudo foram analisados distribuindo as espécies em grupos funcionais. Desta maneira, o uso da abordagem funcional fornece informações capazes de auxiliar na tomada de decisão referente à restauração ecológica de áreas afetadas por exploração humana. Considerando a degradação ambiental intrínseca ao processo de extração de argila, neste trabalho buscou-se encontrar a metodologia mais adequada para a revegetação de talude

no Norte Espírito Santo, em áreas argilosas de Tabuleiros Costeiros. Assim, pressupomos que a presença do adubo verde traz uma série de benefícios relacionados às qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, fornecendo às espécies melhores condições para seu desenvolvimento.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### ***2.1 Reflexos da ação humana sobre o ambiente***

Todo e qualquer tipo de exploração de recursos naturais acarreta a degradação e modificação daquele ambiente afetando solo, plantas e animais (FERNANDES et al., 2005). É cada vez mais preocupante a interferência desses processos realizados no equilíbrio do planeta, e conseqüentemente, em uma longa escala, na sobrevivência da terra.

As florestas tropicais são ambientes ricos em biodiversidade que exercem um papel de grande importância na conservação ecológica e também na regulação do clima global contribuindo de forma significativa para a manutenção da vida no planeta (HENRIQUES 2010; HOLL 2013; IPCC 2014). Porém, este ecossistema é o que mais sofre com o desmatamento. A mata atlântica é um dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000), sendo, ao mesmo tempo, uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do planeta. A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical úmida do território brasileiro, restando cerca de 12,4% do seu território original (“SOS Mata Atlântica”, 2021)

A interferência humana no equilíbrio dos ecossistemas tropicais acarreta, dentre muitas conseqüências, a perda de biodiversidade (ALLNUTT et al., 2008; KULEVICZ et al., 2020), levando a extinção espécies que ainda não foram catalogadas, fragmentação de habitats (EWERS; DIDHAM, 2006), criando pequenas áreas cercadas por estradas ou cidade, e reduzindo a qualidade dos solos (ALLNUTT et al., 2008; DALL’AGNOL et al., 2022; HARTANTO et al., 2003) afetando a microbiota e a ciclagem de nutrientes (WATSON et al., 2022) criando uma cadeia que afeta todo o ecossistema.

Segundo Zaman (2022), é preocupante a relação crescente do desmatamento no Brasil com as mudanças climáticas e o aumento na emissão de gases do efeito estufa, pois isto é uma ameaça a sobrevivência na Terra, sendo de extrema importância a proteção e o reflorestamento

dessas áreas para desacelerar esse processo. Nesse momento existe um conflito em relação ao uso dos recursos naturais, em que de um lado existe a crescente necessidade em diminuir os impactos causados pelo uso dos recursos naturais buscando manter a qualidade de vida na Terra e a sobrevivência da humanidade e de outro o conforto e o lucro que todos os recursos possibilitam ao Humano na vida moderna, como tecnologia, alimentação, lazer etc (DE FARIAS NETO et al, 2008).

O território do bioma Mata atlântica, segundo REZENDE et al (2018), é o que o autor chama de “motor econômico do Brasil” abrigando, além de centros urbanos, as maiores áreas produtivas (agricultáveis) do país o que o torna, de forma direta ou indireta, um importante contribuinte para o Produto Interno Bruto - PIB nacional.

Por esses motivos, existe a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre o uso dos recursos disponíveis e a manutenção da biodiversidade na natureza (AQUINO AFONSO et al., 2016). Assim, há uma necessidade por parte do governo em estabelecer leis, instruções normativas, regulamentos e etc que garantam que, apesar da extração e/ou utilização dos recursos, o meio ambiente seja recuperado, e principalmente que haja fiscalização, para que tais obrigações sejam cumpridas por empresas que utilizam desses recursos.

A revegetação é uma das formas utilizadas para diminuir esses impactos e possibilitar a recuperação inicial de um ambiente modificado por atividades humanas, buscando devolver características que antes estavam presentes no solo e na vegetação.

## ***2.2 Revegetação e adubo verde***

De acordo com o manual de recuperação de áreas degradadas, uma área pode ser considerada degradada quando a retirada de seus recursos afeta suas características físicas, químicas e biológicas (IBAMA, 1990), e, conseqüentemente, a capacidade do ambiente em se regenerar de forma natural fazendo-se necessária a intervenção humana para sua recuperação (CARPANEZZI et al., 1990).

Para planejar o processo de recuperação é necessário considerar características específicas do ambiente como aspectos biológicos, fauna, flora, tipo de solo, relevo, clima e

outros, a fim de reestabelecer a área da forma mais próxima do original possível (RÉ et al., 2007).

Segundo Brasileiro (2009), a erosão seria um dos problemas mais graves no processo de degradação visto que provoca perdas irreversíveis e impactos extremamente graves sobre o meio ambiente afetado. Erosão é o processo no qual as partículas de solo são movimentadas e removidas por ação do vento, gravidade ou da água. Algumas áreas são mais propensas ao processo erosivo, como é o caso dos taludes longos, declivosos (BRUCH et al., 2020).

Taludes são recortes de terras, de inclinação variável, formadas artificialmente durante a extração de argila, expondo o solo a intempéries e oscilações de temperatura e umidade no decorrer do tempo (COUTO et al., 2010). Essas áreas, após o processo de extração, ficam desprovidas de vegetação, resultando num solo totalmente exposto aos efeitos abióticos (GSWCC, 2014). Outra consequência do processo de extração de argila é a alteração da fertilidade do solo, principal causa da sua degradação superficial intensificando o processo de erosão (FERNANDES, 2004). O sucesso do processo de revegetação dessas áreas dependera de fatores que contribuam para o desenvolvimento das plantas, como as propriedades químicas do solo (COPPIN & RICHARDS, 1990).

A fertilidade e a qualidade do solo é o que irá determinar a sobrevivência das plantas em um determinado local, pois é a partir dele que elas obtêm os nutrientes necessários para seu crescimento e desenvolvimento (LOPES, 1998). Um solo pobre não é capaz de reter nutrientes e água suficiente para permitir que espécies vegetais mais exigentes cresçam. Nesse sentido, o processo de revegetação consiste em melhorar os atributos físicos e químicos do solo (ZHENG et al., 2020), buscando restabelecer a riqueza microbiana (WATSON et al., 2022) e a cobertura vegetal (SARAIVA et al., 2020), fornecendo a estrutura inicial para revegetar o ambiente (CIAIS et al., 2013).

O adubo verde é um aliado no processo de revegetação, pois espécies como gramíneas, crucíferas e leguminosas são menos exigentes nutricionalmente. Então, são capazes de sobreviver à escassez de recursos em solos degradados. O seu desenvolvimento fornece benefícios como a cobertura do solo, impedindo a incidência direta dos raios solares, controle da erosão, aumento da retenção de água, diminuição da lixiviação dos nutrientes (NOVARA et al., 2011; SAGRILO et al., 2009). Além disso, as espécies utilizadas no adubo vão fornecer matéria orgânica para o solo proporcionando nutrientes a partir da sua decomposição,

aumentando sua capacidade de trocas catiônicas, retenção de nutrientes e diminuição das perdas nutricionais o que dispensa a utilização de adubos convencionais (IBAMA, 1990; AMBROSANO, et al., 2005) tornando o processo o mais natural possível.

Para que espécies arbóreas cresçam e se desenvolvam saudáveis, é necessário, também, a recuperação da microbiota do solo, pois é a partir dela e de suas interações diretas e indiretas que as plantas terão os recursos necessários para completar o seu ciclo. A decomposição da matéria orgânica advinda das plantas e a ciclagem desses nutrientes é possível graças às bactérias e os fungos saprofíticos o que permite que esses elementos sejam incorporados ao solo e utilizados pelas plantas (HÄTTENSCHWILER; TIUNOV; SCHEU, 2005).

Os microrganismos também podem atuar diretamente associados ao metabolismo vegetal em uma associação mutualística benéfica. Segundo ARAÚJO et al. (2020), as interações entre plantas e os microrganismos endófitos depende de alguns fatores como disposições genéticas, seu estágio de desenvolvimento, estado nutricional e fatores ambientais, como é o caso da associação entre plantas da família Fabaceae e bactérias que fixam o nitrogênio (TAIZ et al., 2017).

### ***2.3 Grupos funcionais***

Vários fatores devem ser considerados na escolha de espécies para o processo de recuperação de uma área, podendo ser um fator decisivo no desenvolvimento da vegetação. Segundo PEREIRA (2006), esses fatores podem ser (1) de origem edáfica, a qual relaciona a capacidade de adaptação das plantas no que diz respeito a composição e fertilidade do solo, (2) Adaptação ao clima e suas variações como tolerância à seca, déficits hídricos, precipitação e temperatura e (3) também a fatores ambientais como biodiversidade, crescimento, longevidade, dormência das sementes dentre outros. A associação desses fatores deve ser capaz de controlar o processo de erosão e tornar a área autossustentável ao longo do processo de recuperação.

Os grupos funcionais são formados por espécies com atributos funcionais que desenvolvem um papel ecológico similar. A aquisição de recursos ou respostas a fatores ambientais são exemplos de atributos que ligam grupos funcionais. Eles podem desempenhar os papéis mais diversos dentro de um ecossistema indo desde a interação com microrganismos do solo, a exemplo das espécies fixadoras de nitrogênio, a servir como suporte para o

desenvolvimento de outras espécies como as plantas pioneiras (BOLDT-BURISCH et al., 2015). Por isso, compreender seus processos de interação com o ambiente é importante para compreender o desenvolvimento das plantas (RODRIGUES et al., 2012).

### *2.3.1 Fixadoras de Nitrogênio*

A fixação do nitrogênio pelas plantas ocorre através da relação de associação com bactérias fixadoras, que se alojam nas raízes formando nódulos, e através deles o nitrogênio livre é convertido em nitrogênio fixado para assimilação ou estoque pela planta (IQBAL et al., 2022). A utilização de espécies da família Fabaceae no adubo verde ou em consórcios contribui para minimizar o uso de fertilizantes nitrogenados melhorando a eficiência do uso desse elemento (LIU et al., 2020; ZHAO et al., 2022).

O nitrogênio é um macronutriente essencial para plantas, envolvido em diversos processos metabólicos e sendo constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila além de outros metabólitos secundários (TAIZ et al., 2017) e envolvido também em respostas fisiológicas do organismo vegetal como germinação de sementes, crescimento de raízes, floração e produtividade (SINGH et al., 2022). Sendo assim a sua falta pode limitar o crescimento e desenvolvimento vegetal caso não esteja disponível em níveis adequados (HIREL; KRAPP, 2021; LEBAUER; TRESEDER, 2008; MARMAGNE; MASCLAUX-DAUBRESSE; CHARDON, 2022).

Comumente, em ambientes cultivados a demanda de N é obtida pela aplicação de fertilizantes industriais/químicos (SHABANAMOL et al., 2018). Na aplicação de fertilizantes nitrogenados em campo, boa parte é perdida e não chega a estar disponível à planta sendo perdido por volatilização da amônia, desnitrificação, lixiviação e escoamento (CHOUDHURY; KENNEDY, 2005; HIREL; KRAPP, 2021). Além disso, a lixiviação de compostos nitrogenados pode contribuir para poluição de cursos d'água a longo prazo(CHOUDHURY; KENNEDY, 2005).

Uma segunda opção de complementação ou até substituição dos fertilizantes nitrogenados é a utilização do adubo verde composto principalmente por espécies de leguminosas capazes de realizar o processo de fixação de nitrogênio (SAGRILO et al., 2009). Atravez da decomposição da matéria orgânica ocorre a reintrodução do nitrogênio no solo, visto

que esse elemento está presente na biomassa vegetal, além de reciclar outros nutrientes promovendo uma liberação lenta para as plantas. Segundo Silva et al (2014), as espécies fixadoras de nitrogênio possuem também a capacidade de mobilizar nutrientes tornando-os mais acessíveis a outras espécies.

A fixação biológica de nitrogênio pode reduzir os efeitos poluidores causados pela aplicação de compostos nitrogenados e contribuir para restaurar de forma eficaz ambientes degradados (CLEVELAND et al., 1999; SIFTON et al., 2022). Em um estudo realizado por Sifton et al (SIFTON et al., 2022) os autores afirmam que a interação entre plantas arbustivas fixadoras de N e outras árvores contribuem para melhorar a qualidade de solos deficientes e também o seu desenvolvimento através da reintrodução de nutrientes no solo devido a decomposição de matéria orgânica.

### 2.3.2 *Espécies pioneiras e não pioneiras*

A sucessão ecológica pode ser definida como o processo de modificação na estrutura de espécies de uma comunidade ao longo do tempo (ODUM, 1988), indo desde a colonização conduzindo a floresta a sua maturidade. Segundo Budowski (1965 *appud* Silva et al., 2017), de acordo com a sucessão ecológica das comunidades, as espécies podem ser classificadas em pioneiras (PI), secundárias iniciais (SI) e secundárias tardias (ST). Segundo o autor, esses grupos de espécies são encontrados em áreas diferentes dentro do mesmo ambiente devido as condições necessárias para o seu desenvolvimento.

O grupo de espécies pioneiras ou de estágios iniciais de sucessão são aquelas comumente encontradas em clareiras ou nas bordas da floresta onde ocorre uma alta incidência de luminosidade (PAULA et al., 2004), sendo indivíduos tolerantes a alta luminosidade (HARTSHORN, 1978). São espécies que possuem características como rápido desenvolvimento e crescimento inicial, uma maior resistência a efeitos bióticos e abióticos, que geralmente apresentam taxas fotossintéticas mais elevadas em comparação às espécies não pioneiras e que não se desenvolvem no sub-bosque (PIÑA-RODRIGUES, et al., 1997; RIGUEIRA et al., 2012).

As espécies pioneiras, quando comparadas a outras espécies, possuem uma menor exigência nutricional (GRIS et al., 2012). Além disso, esses indivíduos são resistentes à alta

exposição solar o que os torna aptos a se desenvolverem a pleno sol, em ambientes com pouca ou nenhuma vegetação (CARPANEZZI, 1990). Essa união de características torna-os, portanto, uma peça-chave no processo de recuperação de ecossistemas e ambientes degradados (CARPANEZZI, 1992).

As espécies não pioneiras ou secundárias são aquelas que formam a estrutura final da floresta, geralmente possuem uma taxa de crescimento mais lento e também uma maior sensibilidade à alta exposição solar (PIÑA-RODRIGUES, et al., 1997). Por esse motivo essas espécies se desenvolvem a sombra das espécies pioneiras visto que suas copas formam uma proteção a luminosidade criando um microclima mais propício ao desenvolvimento de espécies mais sensíveis e melhorando a qualidade do solo (GUO et al., 2022; WANG et al., 2017).

Assim, os plantios devem combinar espécies em diferentes estágios de sucessão, buscando recompor aquele ambiente (DURIGAN; NOGUEIRA, 1990; GLUFKE, 1999).

#### ***2.4 Ecofisiologia Vegetal***

Em ambientes degradados a disponibilidade de recursos primários (luz, água e nutrientes) pode variar de forma tão severa a ponto de impedir a sobrevivência das plantas (GONÇALVES et al., 2001; GOODALE et al., 2012). Por esse motivo, o processo inicial de revegetação de uma área é a etapa mais crítica e importante para o seu sucesso. Os fatores abióticos aos quais as mudas recém-plantadas estarão expostas podem afetar, direta ou indiretamente a seu crescimento e desenvolvimento (GUIMARÃES et al., 2018).

De acordo com Lambers et al (2008), dentro da ecofisiologia é possível estudar os processos e respostas das plantas impulsionados pelas alterações ambientais aos quais elas estão expostas, através da variação de fatores como crescimento, reprodução, sobrevivência, abundância e geografia de distribuição de plantas à medida que são afetados por propriedades físicas, químicas do ambiente.

TAIZ (2017) afirma que fatores como luz, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes, entre outros, vão afetar os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese. As repostas obtidas através da ecofisiologia identificam o estado fisiológico da planta, bem como

a forma como respondem as condições ambientais nas quais estão submetidas (SILVA et al., 2011).

Guimarães et al. (2018) investigaram diferentes estratégias de eficiência no uso de recursos pelas plantas durante o processo de recuperação em uma área da Amazônia. Segundo os autores boa parte dos estudos realizados na área fornecem informações sobre a sobrevivência e crescimento das espécies e não abordam os mecanismos que envolvem o seu desempenho. Em locais onde a oferta de recursos é homogênea, características morfológicas, fisiológicas e fenológicas são responsáveis pelo sucesso adaptativo e aquisição de recursos, sendo responsáveis por favorecer seu estabelecimento inicial.

Nesse contexto, características como a fotossíntese, condutância estomática e eficiência do uso da água e de nutrientes, como a eficiência no uso e obtenção de nitrogênio são mais eficazes para explicar sobrevivência, crescimento ou reprodução da planta (CHATURVEDI et al., 2011; POORTER e BONGERS, 2006; WERDEN et al., 2018). A avaliação da fluorescência transiente da clorofila *a* é uma ferramenta que permite analisar as reações fotoquímicas que dependem de luz e reações bioquímicas independentes de luz, de forma não destrutiva e sem prejuízos para planta (KALAJI et al. 2016). Técnicas como essa possibilitam a detecção de estresse e, também, mecanismos de regulação da planta a fim de obter informações sobre o processo fotossintético sem destruir a amostra testada, tornando a tomada de decisão em relação a tratamentos aplicados na área legítimo. Assim, avaliar características funcionais e mecanismos fisiológicos que permitem a compreensão dos principais fatores responsáveis pelo favorecimento, sobrevivência e crescimento das espécies em áreas de recuperação são mais eficazes.

### **3. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a eficiência de três tratamentos de plantio associados a adubação verde no desenvolvimento e fisiologia de espécies nativas utilizadas na revegetação de áreas impactadas.

#### 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Analisar o comportamento dos grupos funcionais formados pelas espécies vegetais utilizadas;
- ii. Avaliar a eficiência do uso da adubação verde no desenvolvimento e atributos fisiológicos de espécies arbóreas nativas;
- iii. Determinar qual das três técnicas de semeadura do adubo resulta em melhor desempenho fisiológico das espécies arbóreas nativas.

#### 5. MATERIAL E MÉTODOS

##### 5.1. *Sítio do estudo*

A área experimental (APÊNCIDE A) está localizada no município de São Mateus, região norte do Espírito Santo, em uma área de extração de argila licenciada pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), jazida denominada “Inhambu”. O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é tropical do tipo Aw com verão chuvoso e inverno seco (ALVARES, et al. 2013).

A área de estudo foi utilizada para a extração mineral de argila, cujo material foi utilizado para a instalação de bases de poço de petróleo, formando a área do talude onde o experimento foi instalado. O solo predominante na área do experimento é o Latossolo Amarelo distrocoeso (SANTOS et al., 2018) e o talude formado pela escavação possui inclinação padrão para as áreas da Petrobras de 3:1, com declive de 33%.

##### 5.2. *Análise dos atributos químicos do solo*

Foram realizadas três avaliações de atributos químicos do solo. A primeira análise foi feita previamente à implantação do experimento, para caracterizar as propriedades iniciais do solo no sítio experimental. O solo possuía pH 4,7, fósforo (P) 0,66 mg dm<sup>-3</sup>, potássio (K) 13,13 mg dm<sup>-3</sup>, sódio (Na) 19,2 mg dm<sup>-3</sup>, Cálcio (Ca) 0,41 cmolc dm<sup>-3</sup>, Magnésio (Mg) 0,32 cmolc dm<sup>-3</sup>, alumínio (Al) 0,66 cmolc dm<sup>-3</sup>, acidez potencial (H+Al) 2,33 cmolc dm<sup>-3</sup>, soma de bases (SB) 0,85 cmolc dm<sup>-3</sup>, CTC efetiva (T) 1,43 cmolc dm<sup>-3</sup>, CTC pH 7 3,18 cmolc dm<sup>-3</sup>, saturação em bases (V) 26,72%, saturação de alumínio (m) 43,36%, matéria orgânica (MO) 5,54 g Kg<sup>-1</sup>.

As análises químicas do solo foram realizadas também após 6 e 12 meses do plantio das espécies arbóreas. Essas análises foram usadas para avaliar o efeito dos tratamentos na recuperação dos atributos químicos do solo e suas influências no crescimento e desenvolvimento das espécies arbóreas.

Para a coleta do solo, foram retiradas porções de terra entre 0-5 cm de profundidade e, separadas em frações contendo 100 gramas. O solo foi seco, destorroado, secas ao ar e peneirados em malha de 2 mm de abertura, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA) (EMBRAPA, 2011).

Os atributos químicos do solo utilizados nesse estudo para comparação foram: matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A MO contida nas amostras foi obtida através de oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico. A determinação da concentração de Ca e do Mg foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica, e a de fósforo (P) e potássio (K) por meio da solução Mehlich-1 (EMBRAPA, 2011).

### 5.3. *Delineamento experimental*

O Delineamento estatístico usado foi o em blocos casualizados (DBC) em um esquema fatorial triplo 3x2x4 (tratamento de semeadura do adubo verde, presença / ausência do adubo verde e quatro espécies arbóreas), com 4 repetições, sendo 24 parcelas medindo 5 metros de comprimento por 3 de largura (5x3).

Os tratamentos consistiram de três técnicas de semeadura (APÊNDICE B) que se mostram promissoras na revegetação de taludes: tratamento com biomanta (BIO), tratamento de hidrossemeadura (HID) e tratamento com sacos de juta (JUT). Por meio desses tratamentos, o adubo verde foi aplicado, ele foi composto por sementes de gramínea, leguminosas e crucíferas: *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf, *Cajanus cajan* (L. Millsp.), *Canavalia ensiformis* (L.) DC., *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria ochroleuca* G. Don, *Mucuna pruriens* (L.) DC., *Raphanus sativus* L., *Stylosanthes* spp.

Dentro de cada parcela foram distribuídas as espécies nativas arbóreas divididas em duas classes de grupos funcionais sendo fixadoras de nitrogênio (FN) e não fixadoras de nitrogênio (NFN) e também pioneiras (P) e não pioneiras (NP). A primeira espécie *Dalbergia*

*ecastophyllum* (L.) Taub. (Rabo-de-bugio) é uma espécie FN e P. A segunda espécie é a *Inga laurina* (Sw.) Willd. (Ingazinho) FN e NP. A terceira espécie é *Schinus terebinthifolia* Raddi (Aroeira) NFN e P. E a quarta espécie é *Psidium cattleianum* Sabine (Goiabinha) NFN e NP.

A escolha das espécies arbóreas para revegetação foi baseada nas suas características morfofisiológicas e potencial de adaptação edafoclimática de cada uma, considerando espécies nativas do ambiente. Cada espécie foi plantada em duas condições: na presença (+AV) e na ausência (-AV) do adubo verde. Todas as avaliações foram realizadas após 6 e 12 meses de tratamento. O APÊNDICE C mostra como a área está atualmente.

#### 5.4. Avaliações fisiológicas

##### 5.4.1 Fluorescência transiente da clorofila a (JIP-test)

A fluorescência transiente da clorofila a foi medida utilizando o fluorômetro portátil (Mod. HandyPEA, Hansatech Instruments Ltd., UK) como descrito por Strasser & Strasser (1995). As coletas de dados ocorreram no período entre 5 e 10 horas da manhã, em folhas jovens totalmente expandidas pre-adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando-se cliques foliares específicos (Hansatech, UK). A fluorescência da clorofila a foi induzida por um pulso saturante de luz vermelha (650 nm) com intensidade de  $3.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  o que gera a fluorescência máxima para cada tratamento.

A cinética da fluorescência ( $F_0$  a  $F_m$ ) foi registrada de  $10 \mu\text{s}$  a  $1 \text{s}$ . Foram coletados dados da intensidade da fluorescência a  $0,02 \text{ ms}$  ( $F_0$ ),  $2 \text{ ms}$  ( $F_J$ ),  $30 \text{ ms}$  ( $F_I$ ) e  $300 \text{ ms}$  ( $F_P$ ) e usados para obter os parâmetros do teste JIP. A cinética da fluorescência e os parâmetros do teste JIP (Tabela 1) foram analisados de acordo com Strasser, Tsimilli-Michael e Srivastava (2004) e Stirbet e Govindjee (2012). Para os cálculos dos parâmetros do teste JIP foi utilizado o software Biolyzer (Biolyzer © R. M. Rodriguez, The Bionenergetics Laboratory, University of Geneva, Geneva, Switzerland, version 3.06).

Todos os dados referentes as análises fisiológicas foram coletados em dois períodos, seis meses após o plantio em 21/09/2018 e 12 meses após o plantio em 28/03/2019.

**Tabela 1:** Fórmulas dos parâmetros do teste-JIP obtidos a partir do transiente de fluorescência da clorofila a (O-K-J-I-P) de acordo com Strasser et al., (2004) e Chen et al., (2015).

Parâmetros de fluorescência	Descrição
<b>Dados extraídos do transiente de fluorescência OJIP</b>	
<b>F0</b> = 0.02 ms	Fluorescência mínima
<b>FK</b> = 0.3 ms	Intensidade da fluorescência no ponto K aos 0.3 ms do transiente OJIP
<b>FJ</b> = 2 ms	Intensidade da fluorescência no ponto J aos 2 ms do transiente OJIP
<b>FI</b> = 30 ms	Intensidade da fluorescência no ponto I aos 30 ms do transiente OJIP
<b>FP</b> = 300 ms	Intensidade máxima da fluorescência no ponto P aos 300 ms do transiente OJIP
<b>Rendimento quântico e eficiências</b>	
$\phi P_o = TR_o / ABS = [1 - (F0/FM)] = FV/FM$	Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária
$\phi E_o = ET_o / ABS = [1 - (F0/FM)] \psi_0 = \phi P_o \psi_1$	Probabilidade de um fóton absorvido tem de se mover além de QA-
$\phi D_o = 1 - \phi P_o = (F0/FM)$	Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor
<b>Fluxos específicos de energia (por QA reduzindo centro de reação do FSII)</b>	
$ABS/RC = M_0 / VJ / \phi P_o$	Fluxo de absorção por centro de reação ativo
$DI_o/RC = [(ABS / RC) - (TR_o / RC)]$	Energia total dissipada como calor por centro de reação
$TR_o/RC = M_0/VJ$	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação, em t=0
$ET_o/RC = (M_0/VJ) \times \psi E_o = (M_0/VJ) \times (1 - VJ)$	Fluxo de transporte de elétrons por RC em t = 0
<b>Índices de desempenho</b>	
$PI/abs = RC / ABS * \phi P_o / (1 - \phi P_o) * \psi E_0 / (1 - \psi E_0)$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema

#### 5.4.2 Atributos foliares

Para cada espécie, foram escolhidas 10 folhas completamente expandidas por tratamento. Com o auxílio de um cortador de metal foi retirado de cada uma das folhas um disco foliar de 1,10 cm<sup>2</sup> que foi utilizado para determinar os atributos foliares (EVANS & POORTER, 2001).

Os discos foram hidratados em água destilada por um período máximo de 24 horas. Após a hidratação, a espessura (mm) foi medida com um paquímetro digital ( $\pm 0,01$  mm) e a massa saturada (MSt) com uma balança eletrônica digital (0,001g). Para obtenção da massa

seca (MSc), os discos hidratados foram colocados em estufa de secagem, numa temperatura de 60°C, até se obter peso seco constante.

Suculência (g m<sup>-2</sup>) foi calculada pela diferença entre a massa saturada e a massa seca dividida pela área dos discos utilizados (KLUGE & TING, 1978). A massa foliar por área foliar (g m<sup>-2</sup>) foi estimada pela razão entre a MSc e A. Os valores da densidade (mg mm<sup>-3</sup>) foram obtidos a partir da fórmula:  $DEN = MFA / ESP$  (WITKOWSKI & LAMONT, 1991).

#### *5.4.3 Índice de clorofila*

O índice de clorofila (a, b e total) foi medido utilizando um clorofiLOG modelo CFL 1030 (FALKER, 2008). As leituras foram realizadas no terço médio da lâmina foliar totalmente expandida. Esse procedimento foi repetido em três folhas de cada espécie por parcela. Foram analisadas amostras provenientes de coletas realizadas aos 6 e 12 meses.

#### **5.5. Delineamento estatístico**

Em todos os dados avaliados foram coletadas 3 repetições para cada planta presente em cada uma das parcelas totalizando 12 repetições para cada combinação de tipos de semeadura + adubo verde + espécie. Esses dados coletados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram avaliados pela análise multivariada utilizando a PCA (Análise de Componentes Principais). As análises estatísticas dos dados foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2021) versão 4.0.3 por meio da interface RStudio. Os dados coletados foram analisados e apresentados separadamente aos 6 e 12 para melhor visualização das respostas obtidas em cada um dos períodos avaliados.

## **6. RESULTADOS**

### ***6.1 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 6 meses da implantação do experimento***

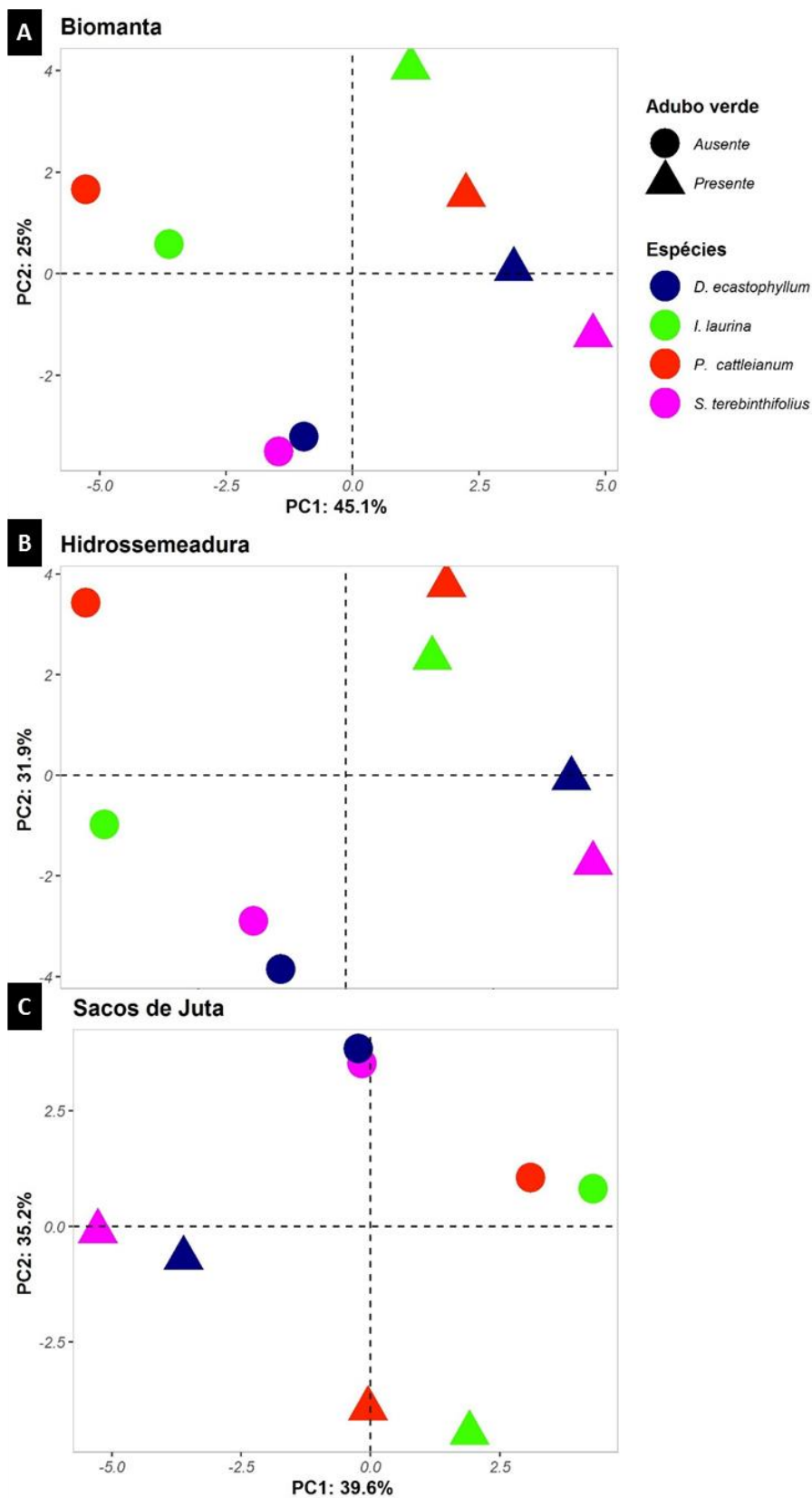
#### *6.1.1 Análise Multivariada*

A Figura 1 apresenta os dados da PCA obtidos para os tratamentos biomanta (Figura 1A) hidrossemeadura (Figura 1B) e saco de juta (Figura 1C) após seis meses da implantação dos tratamentos. Os resultados mostraram a dispersão das quatro espécies arbóreas avaliadas de acordo com a presença ou ausência do adubo verde. Para os tratamentos de biomanta,

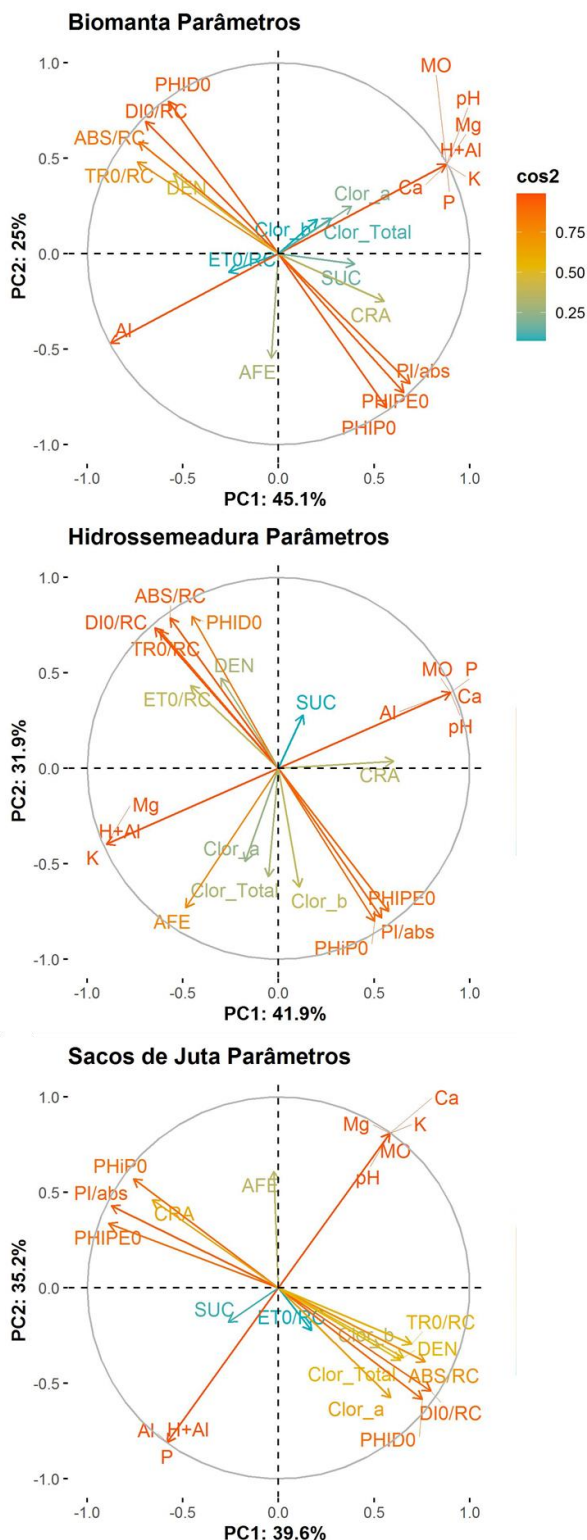
hidrossemeadura e saco de juta, o primeiro componente (PC1) explica, respectivamente, 45,1%, 41,9% e 39,6% e o segundo componente (PC2) explica 25%, 31,9% e 35,2%, respectivamente (Figuras 1A, B e C), que, somadas, explicam 75%, 73,8% e 74,8% da variabilidade dos dados apresentados. Isso indica que todas são adequadas para avaliar as relações entre as variáveis expostas.

Na Figura 1 é possível observar a formação de dois agrupamentos distintos, separando as plantas que receberam o adubo verde daquelas que não receberam. Associando esse agrupamento com a relação dos parâmetros morfofisiológicos e químicos (ver Figura 2), é possível notar a formação de dois componentes que explicam a distribuição dos agrupamentos.

O primeiro está relacionado à presença e ausência do AV adubo verde e está fortemente relacionado aos atributos químicos do solo. No tratamento de biomanta, do lado relacionado à +AV estão as variáveis MO, P, K, Mg, Ca, pH e H+Al. Correlacionado positivamente com a -AV está o teor de Al no solo.



**Figura 1:** Ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastophyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT).



**Figura 2:** Gráfico de geração da análise de componentes principais considerando todos os parâmetros ecofisiológicos, as variáveis fotoquímicas (ABS/RC, DI<sub>o</sub>/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC, PI/abs, φP<sub>o</sub>, φE<sub>o</sub>, φD<sub>o</sub>), índice de clorofila, características foliares, atributos químicos do solo [fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), magnésio (Mg), cálcio (Ca) acidez potencial (H+AL) pH] para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT).

No tratamento com hidrossemeadura nota-se o agrupamento dos parâmetros MO, P, Ca, pH e Al relacionados com a +AV, enquanto Mg, K, H+Al e AFE estão fortemente correlacionados com a -AV. Para o tratamento com sacos de juta, observou-se o agrupamento dos parâmetros H+Al, P, Al, SUC relacionados negativamente aos elementos Mg, pH, K, MO, Ca, sendo este o único tipo de plantio em que o Al e a acidez potencial (H+Al) estiveram correlacionados positivamente.

No segundo componente observa-se a distribuição das espécies arbóreas de acordo com sua relação individual com os parâmetros avaliados, especialmente os relacionados ao teste JIP. Em todos os tratamentos, observou-se o agrupamento das espécies *I. laurina* e *P. cattleianum* e, da mesma forma, de *S. terebinthifolia* e *D. ecastophyllum*. Esse comportamento é melhor explicado utilizando-se o teste de tukey e observando-se as características individuais das espécies.

### **6.1.2 Teste Tukey**

#### *6.1.2.1 Índice de clorofila*

No tratamento BIO, as espécies *P. cattleianum* e *S. terebinthifolia* apresentaram maior Clr *a* em +AV (Tabela 2). Por outro lado *I. laurina* e *D. ecastophyllum* apresentaram maior Clr *a* em -AV. Com relação Clr *b*, maiores valores foram observados em *P. cattleianum* em +AV e em *D. ecastophyllum* em -AV. Para *S. terebinthifolia* e *I. laurina*, nenhuma diferença significativa foi observada para Clr *b*.

No tratamento com HID, não houve diferença significativa para Clr *a*, Clr *b* e Clr total em *P. cattleianum* e *S. terebinthifolia*. Por outro lado, maior Clr *a*, Clr *b* e Clr total foi observada em *I. laurina* e *D. ecastophyllum* em -AV.

Em JUT, a diferença em Clr *a* foi significativa apenas para a espécie *P. cattleianum*, com maior valor em +AV. Em relação a Clr *b*, apenas em *I. laurina* não houve diferença entre -AV e +AV. Para a espécie *P. cattleianum*, maior Clr *b* foi observado em +AV ao passo que, para *S. terebinthifolia* e *D. ecastophyllum* Clr *b* aumentou em -AV. Não houve mudanças em Clr total para as espécies avaliadas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrossemeadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre o índice de Clr (Clr. *a*, Clr. *b* e Clr. total – Clorofila *a*, *b* e total, respectivamente) de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio.

		6 Meses									
		Não Fixadoras de Nitrogênio					Fixadoras de Nitrogênio				
		Pioneira		Não pioneira			Pioneira		Não pioneira		
		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>P. cattleianum</i>			<i>D. ecastaphyllum</i>		<i>I. laurina</i>		
Clr <i>a</i>	BIO	+AV	42.26 ± 1.07	a AB	42.06 ± 5.01	a B	39.77 ± 1.38	b A	45.20 ± 1.76	a A	
		-AV	40.32 ± 2.12	b C	38.36 ± 1.81	b C	42.04 ± 0.97	a A	45.08 ± 1.22	a A	
	HID	+AV	41.30 ± 5.35	a ABC	38.54 ± 7.28	a BC	37.08 ± 2.00	b A	41.08 ± 2.70	b B	
		-AV	39.30 ± 3.08	a BC	36.55 ± 2.36	a C	41.81 ± 0.74	a B	44.52 ± 1.87	a A	
	JUT	+AV	42.66 ± 2.29	a AB	46.23 ± 2.76	a A	41.36 ± 3.44	a A	45.78 ± 0.98	a A	
		-AV	43.50 ± 3.71	a A	42.84 ± 1.33	b AB	41.93 ± 1.43	a A	46.12 ± 1.31	a A	
Clr <i>b</i>	BIO	+AV	14.20 ± 0.94	a A	13.33 ± 1.75	a BC	12.55 ± 1.35	b AB	16.46 ± 2.36	a AB	
		-AV	13.71 ± 1.94	b C	10.22 ± 0.63	b C	14.64 ± 1.02	a A	16.97 ± 1.78	a BC	
	HID	+AV	14.58 ± 4.13	a C	11.72 ± 5.68	a BC	10.88 ± 1.40	b C	12.19 ± 1.77	b D	
		-AV	12.45 ± 1.54	a BC	8.44 ± 1.01	a C	13.49 ± 0.80	a AB	15.46 ± 0.82	a C	
	JUT	+AV	13.84 ± 2.61	b A	18.17 ± 5.79	a A	12.94 ± 2.86	b B	19.36 ± 1.11	a A	
		-AV	18.07 ± 4.13	a BC	13.36 ± 1.27	b B	15.29 ± 1.74	a A	18.50 ± 1.26	a AB	
Clr total	BIO	+AV	56.68 ± 2.16	a AB	53.81 ± 3.45	a BC	52.43 ± 3.04	b A	60.40 ± 4.06	a AB	
		-AV	53.88 ± 3.65	b C	48.94 ± 1.44	b C	56.69 ± 1.86	a A	62.18 ± 3.22	a AB	
	HID	+AV	55.88 ± 9.02	a ABC	50.26 ± 12.76	a BC	47.96 ± 3.24	b B	53.03 ± 6.89	b C	
		-AV	51.75 ± 3.99	a BC	44.99 ± 3.32	a C	55.30 ± 1.44	a A	59.98 ± 2.39	a B	
	JUT	+AV	56.82 ± 4.48	a AB	61.85 ± 11.87	a A	54.30 ± 6.08	a A	65.15 ± 1.83	a A	
		-AV	60.83 ± 8.37	a A	56.58 ± 1.83	a AB	57.23 ± 3.01	a A	65.13 ± 0.79	a A	

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (–AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

### 6.1.2.2 Fluorescência transiente da clorofila *a*

Para o tratamento de biomanta, observou-se diferença significativa para todos os parâmetros do test-JIP avaliados na espécie *S. terebinthifolia* (Tabela 3). Em +AV, observam-se maiores valores de  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs ao passo que em -AV, maiores valores de  $\phi D_o$ , ABS/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC e DI<sub>o</sub>/RC foram descritos. Na espécie *P. cattleianum*, os valores de  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$ , TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC e PI/abs, na +AV, e  $\phi D_o$ , ABS/RC e DI<sub>o</sub>/RC foram maiores em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença significativa entre +AV e -AV, com maiores valores de  $\phi E_o$ , ABS/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC e PI/abs obtidos em -AV. Os parâmetros do JIP-test não diferiram em *Dalbergia ecastophyllum* neste tratamento (Tabela 3).

Para o tratamento de hidrossemeadura, *S. terebinthifolia* mostrou maiores valores de  $\phi E_o$  e PI/abs em +AV e maiores valores de  $\phi D_o$ , ABS/RC, TR<sub>o</sub>/RC e DI<sub>o</sub>/RC em -AV (Tabela 3). Na espécie *P. cattleianum*, observam-se maiores valores de  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs em +AV e maiores valores de  $\phi D_o$ , ABS/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC e DI<sub>o</sub>/RC em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para o parâmetro  $\phi D_o$  na presença do adubo verde e ABS/RC, TR<sub>o</sub>/RC, ET<sub>o</sub>/RC e DI<sub>o</sub>/RC na ausência do adubo verde. *Dalbergia ecastophyllum* apresentou diferença estatística significativa apenas para o parâmetro ABS/RC com maiores valores obtidos para +AV.

No tratamento de sacos de juta observou-se maiores valores de PI/abs em *S. terebinthifolia* em +AV e maiores valores de ABS/RC e TR<sub>o</sub>/RC em -AV (Figura 3). Para *P. cattleianum*, maiores  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs foram observados em +AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para o parâmetro  $\phi P_o$  na presença do adubo verde e  $\phi D_o$  na ausência do adubo verde. Os parâmetros do JIP-test não diferiram em *Dalbergia ecastophyllum* neste tratamento. Nenhuma variação foi observada para os demais parâmetros do JIP-test avaliados

### 6.1.2.3 Atributos foliares

No tratamento biomanta, CRA não diferiu para nenhuma das espécies arbóreas avaliadas (Tabela 4). A AFE foi maior na ausência do adubo verde para *S. terebinthifolia* e *I. laurina*. A DEN variou em *P. cattleianum*, a qual foi maior em -AV e maior em +AV para a espécie *I. laurina*. *Dalbergia ecastophyllum* só apresentou diferença significativa para o parâmetro SUC com maior valor observado em -AV, ao contrário de *S. terebinthifolia* e *P. cattleianum*, caracterizadas por maior SUC em +AV (Tabela 4).

No tratamento com hidrossemeadura, a DEN não diferiu para nenhuma das espécies avaliadas. A SUC foi maior em +AV para *S. terebinthifolia* e *I. laurina*. A AFE teve o mesmo comportamento em *P. cattleianum* e *I. laurina* sendo maior na +AV. O CRA foi maior em +AV para *D. ecastophyllum* e *I. laurina*.

Para o tratamento de sacos de juta, SUC foi maior em *D. ecastophyllum* em -AV, diferentemente de *S. terebinthifolia* e *P. cattleianum*, para as quais, maiores valores de SUC foram obtidas +AV. A DEN foi maior em +AV para *D. ecastophyllum* e *I. laurina* e maior em -AV para *S. terebinthifolia*. A AFE aumentou na ausência do adubo verde em *I. laurina*. O CRA aumentou em *S. terebinthifolia* em +AV.

**Tabela 3:** Parâmetros do teste JIP de para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio submetidas à presença (+AV) ou ausência (-AV) do adubo verde semeado em Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT).

		6 Meses																
		Não Fixadoras de Nitrogênio						Fixadoras de Nitrogênio										
		Pioneira			Não pioneira			Pioneira			Não pioneira							
		<i>S. terebinthifolius</i>			<i>P. cattleianum</i>			<i>D. ecastaphyllum</i>			<i>I. laurina</i>							
$\phi P_o$	BIO	+AV	0.82	± 0.01	a	AB	0.78	± 0.01	a	A	0.79	± 0.01	a	A	0.74	± 0.02	a	B
		-AV	0.81	± 0.01	b	BC	0.74	± 0.02	b	BC	0.80	± 0.01	a	A	0.75	± 0.01	a	AB
	HID	+AV	0.82	± 0.01	a	A	0.75	± 0.03	a	BC	0.80	± 0.01	a	A	0.74	± 0.02	a	B
		-AV	0.81	± 0.02	a	AB	0.72	± 0.03	b	C	0.80	± 0.02	a	A	0.75	± 0.01	a	AB
	JUT	+AV	0.82	± 0.01	a	AB	0.78	± 0.02	a	A	0.80	± 0.02	a	A	0.74	± 0.02	b	A
		-AV	0.82	± 0.01	a	AB	0.76	± 0.01	b	AB	0.80	± 0.02	a	A	0.76	± 0.01	a	B
$\phi E_o$	BIO	+AV	0.49	± 0.02	a	A	0.43	± 0.04	a	A	0.44	± 0.05	a	A	0.33	± 0.02	b	B
		-AV	0.45	± 0.01	b	BC	0.32	± 0.05	b	BC	0.44	± 0.04	a	A	0.36	± 0.04	a	AB
	HID	+AV	0.48	± 0.02	a	A	0.36	± 0.05	a	BC	0.46	± 0.04	a	A	0.34	± 0.04	a	B
		-AV	0.45	± 0.03	b	C	0.30	± 0.02	b	C	0.45	± 0.06	a	A	0.33	± 0.03	a	AB
	JUT	+AV	0.50	± 0.02	a	A	0.44	± 0.02	a	A	0.48	± 0.06	a	A	0.38	± 0.05	a	A
		-AV	0.48	± 0.03	a	AB	0.41	± 0.04	b	A	0.45	± 0.05	a	A	0.37	± 0.03	a	A
$\phi D_o$	BIO	+AV	0.18	± 0.01	b	AB	0.22	± 0.01	b	D	0.21	± 0.01	a	A	0.26	± 0.02	a	B
		-AV	0.19	± 0.01	a	A	0.26	± 0.02	a	AB	0.20	± 0.01	a	A	0.25	± 0.01	a	BC
	HID	+AV	0.18	± 0.01	b	B	0.25	± 0.03	b	BC	0.20	± 0.01	a	A	0.28	± 0.00	a	A
		-AV	0.19	± 0.02	a	AB	0.28	± 0.03	a	A	0.20	± 0.02	a	A	0.25	± 0.01	b	B
	JUT	+AV	0.18	± 0.01	a	AB	0.22	± 0.02	a	CD	0.20	± 0.02	a	A	0.26	± 0.02	a	B
		-AV	0.18	± 0.01	a	AB	0.23	± 0.01	a	D	0.20	± 0.02	a	A	0.24	± 0.01	b	C
ABS/RC	BIO	+AV	1.68	± 0.14	b	C	2.26	± 0.13	b	CD	1.78	± 0.10	a	AB	2.15	± 0.14	b	AB
		-AV	1.90	± 0.04	a	AB	2.77	± 0.27	a	AB	1.80	± 0.24	a	A	2.35	± 0.15	a	A
	HID	+AV	1.72	± 0.22	b	AB	2.53	± 0.29	b	BC	1.69	± 0.23	a	AB	2.17	± 0.18	b	AB
		-AV	1.96	± 0.29	a	A	3.07	± 0.37	a	A	1.53	± 0.06	b	B	2.35	± 0.14	a	A
	JUT	+AV	1.62	± 0.13	b	C	2.22	± 0.23	a	D	1.70	± 0.20	a	AB	2.02	± 0.17	a	B
		-AV	1.80	± 0.14	a	ABC	2.34	± 0.19	a	CD	1.67	± 0.34	a	AB	2.10	± 0.24	a	B
TR <sub>o</sub> /RC	BIO	+AV	1.38	± 0.10	b	C	1.75	± 0.10	a	C	1.46	± 0.12	a	A	1.58	± 0.06	b	B
		-AV	1.56	± 0.06	a	AB	2.05	± 0.14	b	AB	1.43	± 0.17	a	A	1.77	± 0.11	a	A
	HID	+AV	1.41	± 0.16	b	BC	1.89	± 0.16	b	BC	1.35	± 0.16	a	A	1.60	± 0.11	b	B

		-AV	1.58 ± 0.21	a A	2.21 ± 0.19	a A	1.33 ± 0.16	a A	1.78 ± 0.14	a A
	JUT	+AV	1.33 ± 0.10	b C	1.72 ± 0.15	a C	1.36 ± 0.14	a A	1.49 ± 0.11	a B
		-AV	1.47 ± 0.10	a ABC	1.78 ± 0.13	a C	1.33 ± 0.24	a A	1.61 ± 0.17	a B
ET <sub>0</sub> /RC	BIO	+AV	0.80 ± 0.05	b AB	0.97 ± 0.05	a AB	0.77 ± 0.04	a A	0.71 ± 0.03	b B
		-AV	0.89 ± 0.07	a A	0.89 ± 0.10	b B	0.77 ± 0.06	a A	0.84 ± 0.12	a A
	HID	+AV	0.83 ± 0.08	a AB	0.91 ± 0.05	b AB	0.77 ± 0.09	a A	0.72 ± 0.06	b B
		-AV	0.87 ± 0.07	a AB	0.97 ± 0.08	a A	0.74 ± 0.04	a A	0.84 ± 0.13	a A
	JUT	+AV	0.81 ± 0.06	a A	0.98 ± 0.06	a A	0.78 ± 0.07	a A	0.76 ± 0.12	a AB
		-AV	0.85 ± 0.05	a AB	0.96 ± 0.07	a AB	0.74 ± 0.10	a A	0.78 ± 0.09	a AB
DI <sub>0</sub> /RC	BIO	+AV	0.30 ± 0.04	b AB	0.51 ± 0.04	b CD	0.38 ± 0.04	a A	0.55 ± 0.06	a B
		-AV	0.36 ± 0.03	a AB	0.72 ± 0.13	a AB	0.37 ± 0.07	a A	0.58 ± 0.05	a B
	HID	+AV	0.31 ± 0.05	b AB	0.64 ± 0.14	b BC	0.34 ± 0.07	a A	0.57 ± 0.08	b B
		-AV	0.37 ± 0.08	a A	0.86 ± 0.19	a A	0.34 ± 0.08	a A	0.70 ± 0.18	a A
	JUT	+AV	0.29 ± 0.04	a C	0.50 ± 0.08	a D	0.34 ± 0.06	a A	0.53 ± 0.08	a B
		-AV	0.31 ± 0.06	a ABC	0.54 ± 0.08	a CD	0.34 ± 0.10	a A	0.50 ± 0.07	a B
PI/abs	BIO	+AV	41.15 ± 7.76	a AB	19.79 ± 4.64	a AB	27.41 ± 8.28	a A	11.19 ± 1.65	b BC
		-AV	26.36 ± 5.76	b C	8.59 ± 3.34	b CD	28.67 ± 8.86	a A	12.69 ± 1.98	a ABC
	HID	+AV	40.09 ± 9.29	a AB	10.95 ± 3.65	a C	31.18 ± 8.65	a A	10.85 ± 3.53	a BC
		-AV	29.26 ± 10.40	b C	5.93 ± 1.32	b D	35.33 ± 14.71	a A	9.85 ± 2.62	a C
	JUT	+AV	46.17 ± 9.57	a A	20.34 ± 4.86	a A	32.04 ± 7.70	a A	15.44 ± 4.85	a A
		-AV	34.66 ± 6.14	b BC	15.61 ± 3.46	b B	35.06 ± 17.71	a A	14.47 ± 2.66	a AB

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (-AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

**Tabela 4:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre os atributos foliares [suculência (SUC), densidade (DEN) area foliar específica (AFE) e coeficiente relativo de água (CRA)] de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 6 meses de plantio.

		6 Meses												
		Não Fixadoras de Nitrogênio						Fixadoras de Nitrogênio						
		Pioneira			Não pioneira			Pioneira			Não pioneira			
		<i>S. terebinthifolius</i>			<i>P. cattleianum</i>			<i>D. ecastaphyllum</i>			<i>I. laurina</i>			
SUC	BIO	+AV	249.18 ± 19.60	a	A	294.14 ± 44.60	a	A	156.28 ± 13.45	b	C	160.17 ± 2.26	a	A
		-AV	197.19 ± 22.61	b	C	191.23 ± 14.40	b	C	181.40 ± 9.97	a	AB	160.96 ± 17.18	a	A
	HID	+AV	233.13 ± 14.11	a	AB	229.06 ± 35.98	a	BC	173.84 ± 15.22	a	ABC	159.26 ± 18.09	a	A
		-AV	209.55 ± 33.82	b	BC	239.19 ± 55.32	a	B	177.23 ± 17.35	a	AB	139.85 ± 17.15	b	B
	JUT	+AV	258.40 ± 32.97	a	A	304.87 ± 39.36	a	A	163.38 ± 22.25	b	BC	156.68 ± 15.28	a	AB
		-AV	211.93 ± 34.43	b	BC	240.53 ± 23.45	b	B	184.98 ± 20.51	a	A	156.92 ± 8.69	a	AB
DEN	BIO	+AV	0.40 ± 0.05	a	A	0.33 ± 0.09	b	C	0.38 ± 0.04	a	AB	0.46 ± 0.02	a	A
		-AV	0.41 ± 0.04	a	AB	0.49 ± 0.02	a	A	0.37 ± 0.05	a	B	0.42 ± 0.02	b	B
	HID	+AV	0.35 ± 0.06	a	B	0.43 ± 0.08	a	AB	0.41 ± 0.06	a	AB	0.46 ± 0.02	a	A
		-AV	0.38 ± 0.04	a	AB	0.41 ± 0.07	a	B	0.41 ± 0.05	a	AB	0.45 ± 0.01	a	A
	JUT	+AV	0.36 ± 0.02	b	AB	0.40 ± 0.05	a	BC	0.44 ± 0.02	a	A	0.47 ± 0.02	a	A
		-AV	0.40 ± 0.03	a	A	0.43 ± 0.05	a	AB	0.40 ± 0.05	b	AB	0.44 ± 0.03	b	AB
AFE	BIO	+AV	76.27 ± 13.02	b	B	69.47 ± 13.00	a	B	94.12 ± 4.32	a	AB	81.52 ± 3.20	b	C
		-AV	90.30 ± 7.65	a	AB	68.47 ± 1.99	a	B	99.41 ± 14.70	a	A	91.83 ± 6.33	a	A
	HID	+AV	82.48 ± 5.48	a	AB	71.76 ± 8.87	b	AB	84.52 ± 4.69	a	B	83.48 ± 3.15	b	BC
		-AV	94.12 ± 20.05	a	A	83.76 ± 15.80	a	A	88.82 ± 10.97	a	AB	91.50 ± 6.19	a	A
	JUT	+AV	78.61 ± 11.76	a	AB	66.87 ± 10.47	a	B	85.24 ± 4.62	a	B	81.53 ± 1.65	b	C
		-AV	86.30 ± 18.98	a	AB	71.47 ± 10.91	a	AB	94.70 ± 15.31	a	AB	87.89 ± 3.03	a	AB
CRA	BIO	+AV	75.25 ± 5.29	a	AB	72.15 ± 5.72	a	A	71.91 ± 2.87	a	AB	66.31 ± 8.23	a	A
		-AV	71.52 ± 5.29	a	B	70.96 ± 8.25	a	A	67.87 ± 7.51	a	B	60.70 ± 7.53	a	AB
	HID	+AV	72.03 ± 2.13	a	B	70.47 ± 6.11	a	A	76.02 ± 6.58	a	A	62.98 ± 4.86	a	AB
		-AV	70.27 ± 3.51	a	B	69.26 ± 7.29	a	A	66.99 ± 3.79	b	B	54.57 ± 6.48	b	B
	JUT	+AV	78.44 ± 3.39	a	A	69.62 ± 1.53	a	A	72.24 ± 5.19	a	AB	61.82 ± 11.32	a	AB
		-AV	74.78 ± 4.48	b	AB	72.30 ± 10.52	a	A	69.28 ± 5.49	a	B	66.88 ± 7.73	a	A

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (–AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

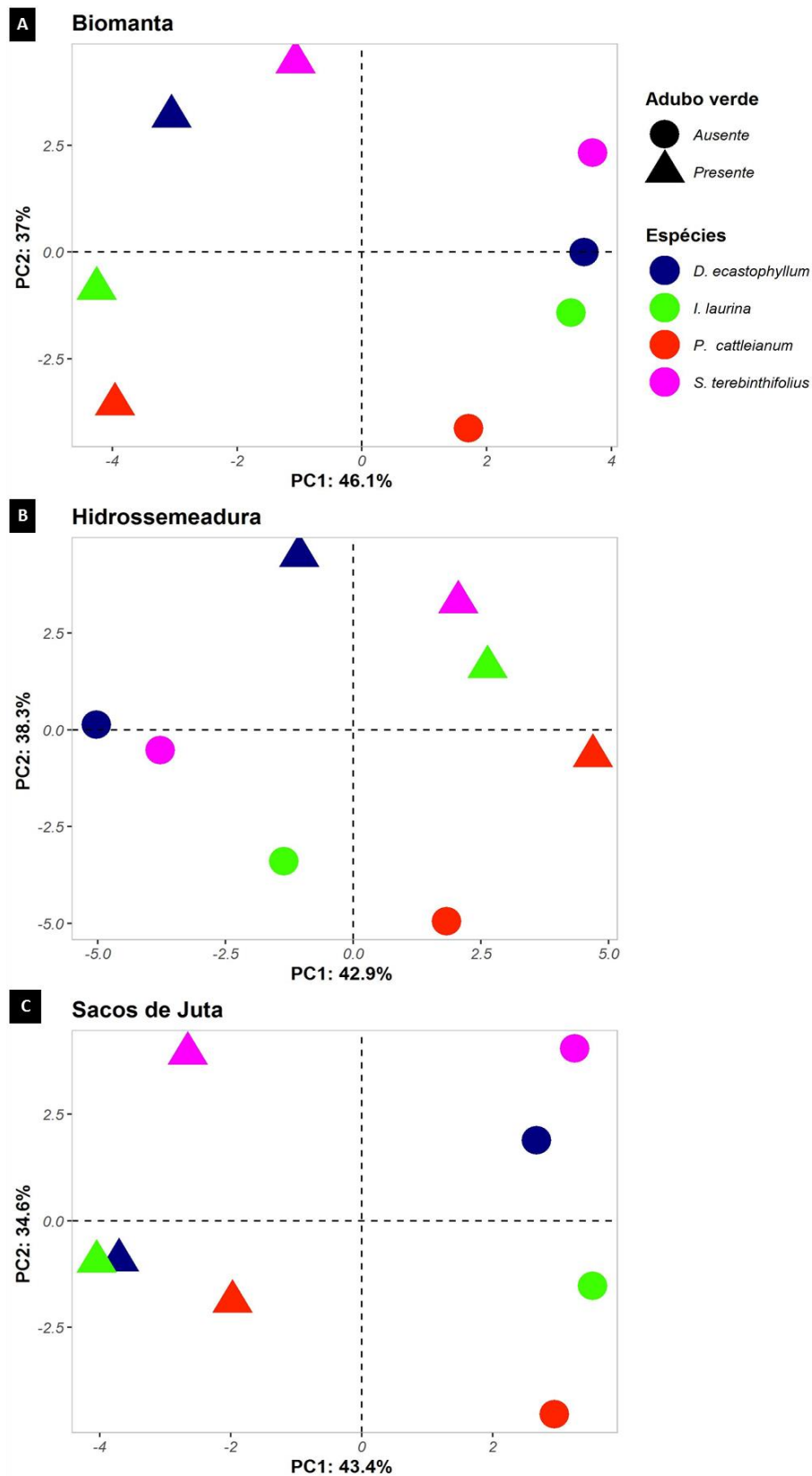
## 6.2 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 12 meses da implantação do experimento

### 6.2.1 Análise Multivariada

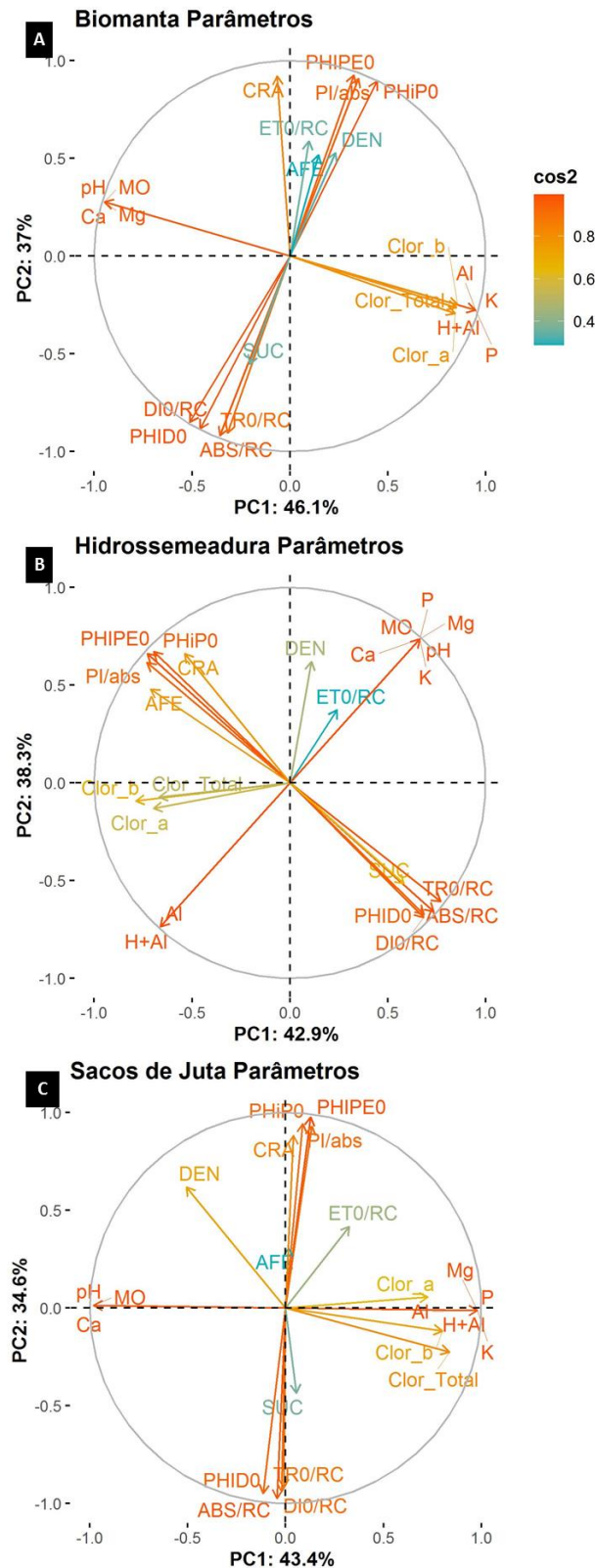
A Figura 3 apresenta os dados da PCA obtidos para os tratamentos biomanta (Figura 3A) hidrossemeadura (Figura 3B) e sacos de juta (Figura 3C) após 12 meses do início do experimento. Os resultados mostraram a dispersão das quatro espécies avaliadas de acordo com a presença ou ausência do adubo verde. Para os tratamentos de biomanta, hidrossemeadura e sacos de juta, o componente principal (PC1) explica 46,1%, 42,9% e 43,4% e o componente principal (PC2) explica 37%, 38,3% e 34,6%, respectivamente (Figuras 3A, B e C), que, somadas, explicam 83,1%, 81,2% e 78% da variabilidade dos dados apresentados, indicando que todas são adequadas para avaliar as relações entre as variáveis expostas. Aos 12 meses, a relação de agrupamento dos parâmetros entre os componentes ainda se mantém, com o primeiro sendo relacionado à utilização do adubo verde e o segundo à separação das espécies.

No tratamento de biomanta, do lado relacionado à presença de AV estão as variáveis Ca, MO, pH e Mg enquanto Clr *a*, Clr *b* Clr total, K, Al, P e H+Al são relacionadas à ausência de AV (Figura 4). No tratamento com hidrossemeadura nota-se o agrupamento dos parâmetros Ca, MO, pH, P, K e Mg relacionados com a presença de AV, enquanto Al e H+Al estão fortemente correlacionados com a ausência de AV. Para o tratamento com sacos de juta, observou-se um agrupamento dos parâmetros Ca, pH e MO relacionados à presença de AV e P, K, Mg, Al, H+Al e Clr *a*, Clr *b* Clr total relacionados a sua ausência. Aos 12 meses, o teor de Al e a H+Al foram correlacionados com a ausência de AV em todos os tratamentos avaliados (Figura 4).

Como apresentado nas Figuras 2 e 4, a análise dos componentes principais (PCA) permite-nos observar o comportamento variável do índice de clorofila de acordo com o tratamento aplicado no plantio. Todavia, esses resultados diferiram daqueles obtidos aos 6 meses em relação ao tratamento com sacos de juta. Nesse tratamento, o índice de clorofila foi relacionado ao componente que divide as espécies enquanto aos 12 meses, estão relacionadas ao eixo dos atributos químicos do solo.



**Figura 3:** Ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastophyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT).



**Figura 4:** Gráfico de geração da análise de componentes principais considerando todos os parâmetros ecofisiológicos, as variáveis fotoquímicas (ABS/RC, DI<sub>0</sub>/RC, TR<sub>0</sub>/RC, ET<sub>0</sub>/RC, PI/abs, φP<sub>0</sub>, φE<sub>0</sub>, φD<sub>0</sub>), índice de clorofila, características foliares, atributos químicos do solo [fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), magnésio (Mg), cálcio (Ca) acidez potencial (H+AL) pH] para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença ou ausência do adubo. A - Biomanta (BIO). B - Hidrossemeadura (HID). C - Saco de Juta (JUT).

No segundo componente principal (PC2), observa-se a distribuição das espécies arbóreas de acordo com sua relação individual com os parâmetros avaliados, principalmente os relacionados ao teste JIP. Nos 3 tratamentos de plantio temos o padrão de comportamento em que *I. laurina* e *P. cattleianum* encontram-se mais relacionadas aos parâmetros  $\phi D_o$ , ABS/RC,  $DI_o/RC$ ,  $TR_o/RC$  e SUC ao passo que *S. terebinthifolia* e *D. ecastophyllum* são relacionadas a  $\phi E_o$  e  $\phi P_o$ , PI/abs, CRA e AFE. Nota-se que, no tratamento com sacos de juta, *I. laurina* e *D. ecastophyllum* estão fortemente correlacionadas por meio da análise dos componentes principais (Figura 3C) o que não ocorre antes.

## 6.2.2 Teste Tukey

### 6.2.2.1 Índice de clorofila

O índice de clorofila (Clr *a*, Clr *b* e Clr total) diferiu significativamente em *I. laurina* e *D. ecastophyllum* para os tratamentos e todos os parâmetros avaliados, ao contrário dos resultados obtidos aos seis meses (Tabela 5). Em todos os casos, os maiores valores de Clr *a*, Clr *b* e Clr total foram mensurados na ausência do adubo verde. *Schinus terebinthifolia* apresentou diferença significativa em Clr *a*, Clr *b* e Clr total apenas no tratamento com hidrossemeadura, mas, similarmente às *I. laurina* e *D. ecastophyllum*, também mostrou altos valores na ausência do adubo verde. *Psidium cattleianum* foi a única espécie a apresentar maior índice de clorofila em +AV. Porém, só mostrou diferença estatística significativa para o tratamento de hidrossemeadura para Clr *a* e Clr total.

### 6.2.2.2 Fluorescência transiente da clorofila *a*

A espécie *S. terebinthifolia* só diferiu para os parâmetros  $ET_o/RC$  e  $DI_o/RC$  no tratamento com hidrossemeadura, com maiores valores obtidos para +AV (Tabela 6). Em *P. cattleianum* essa diferença é observada apenas no tratamento com sacos de juta para os parâmetros  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs em +AV e  $\phi D_o$ , ABS/RC,  $TR_o/RC$  e  $DI_o/RC$  em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para os tratamentos biomanta e sacos de juta. Em BIO, maiores valores  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs ocorreram em -AV e maior  $\phi D_o$  e  $DI_o/RC$  em -AV. Para JUT, apenas  $ET_o/RC$  apresentou diferença significativa com valores mais altos na -AV. Em *D. ecastophyllum*, o tratamento com sacos de juta apresentou maiores valores de  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e PI/abs na -AV. Os parâmetros  $\phi D_o$ , ABS/RC,  $TR_o/RC$  e  $DI_o/RC$  foram mais elevados na +AV.

**Tabela 5:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura (Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)) sobre o índice de Clr (Clr. *a*, Clr. *b* e Clr. total – Clorofila *a*, *b* e total, respectivamente) de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio.

		12 Meses								
		Não Fixadoras de Nitrogênio				Fixadoras de Nitrogênio				
		Pioneira		Não pioneira		Pioneira		Não pioneira		
		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>P. cattleianum</i>		<i>D. ecastaphyllum</i>		<i>I. laurina</i>		
Clr <i>a</i>	BIO	+AV	36.25 ± 4.83	a A	35.05 ± 5.53	a AB	30.36 ± 3.62	b D	31.45 ± 3.98	b B
		-AV	37.07 ± 2.54	a A	38.21 ± 1.71	a A	38.49 ± 2.94	a AB	39.80 ± 2.81	a A
	HID	+AV	28.04 ± 3.61	b B	33.12 ± 2.90	a BC	34.76 ± 4.22	b BC	33.34 ± 3.95	b B
		-AV	36.58 ± 4.43	a A	28.84 ± 3.04	b C	38.91 ± 2.79	a A	40.13 ± 2.63	a A
	JUT	+AV	35.94 ± 4.62	a A	37.23 ± 2.06	a AB	31.24 ± 3.18	b CD	32.83 ± 5.38	b B
		-AV	37.72 ± 4.47	a A	36.42 ± 5.90	a AB	35.38 ± 2.63	a AB	39.65 ± 2.34	a A
Clr <i>b</i>	BIO	+AV	9.59 ± 3.06	a A	9.09 ± 2.48	a AB	6.69 ± 1.66	b D	7.01 ± 1.74	b B
		-AV	10.04 ± 1.67	a A	10.36 ± 1.11	a A	11.73 ± 2.05	a A	11.54 ± 2.38	a A
	HID	+AV	6.40 ± 1.00	b B	7.88 ± 1.43	a AB	9.24 ± 2.47	b BC	8.08 ± 2.16	b B
		-AV	9.81 ± 2.68	a A	6.53 ± 2.57	a B	11.39 ± 1.84	a AB	11.32 ± 1.61	a A
	JUT	+AV	8.88 ± 1.99	a AB	10.42 ± 2.32	a A	7.73 ± 1.76	b CD	7.58 ± 2.29	b B
		-AV	10.14 ± 2.49	a A	10.24 ± 3.35	a A	9.66 ± 1.45	a ABC	10.72 ± 1.30	a A
Clr total	BIO	+AV	45.84 ± 7.75	a A	44.14 ± 7.97	a BC	37.04 ± 5.25	b C	38.46 ± 5.68	b B
		-AV	47.02 ± 4.08	a A	48.02 ± 3.42	a AB	50.22 ± 4.95	a A	51.34 ± 5.10	a A
	HID	+AV	30.35 ± 7.40	b B	40.99 ± 4.16	a C	44.00 ± 6.64	b AB	41.42 ± 6.07	b B
		-AV	46.39 ± 7.07	a A	31.81 ± 4.56	b D	50.30 ± 4.51	a A	51.44 ± 4.18	a A
	JUT	+AV	44.83 ± 6.50	a A	46.18 ± 6.28	b ABC	39.78 ± 5.92	b BC	40.41 ± 7.62	b B
		-AV	47.86 ± 6.82	a A	51.54 ± 2.54	a A	45.04 ± 4.04	a AB	50.37 ± 3.56	a A

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (–AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

**Tabela 6:** Parâmetros do teste JIP de para as espécies *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio submetidas à presença (+AV) ou ausência (-AV) do adubo verde semeado em Biomanta (BIO), Hidrossemeadura (HID) ou saco de juta (JUT).

		12 Meses								
		Não Fixadoras de Nitrogênio				Fixadoras de Nitrogênio				
		Pioneira		Não pioneira		Pioneira		Não pioneira		
		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>P. cattleianum</i>		<i>D. ecastaphyllum</i>		<i>I. laurina</i>		
$\phi P_o$	BIO	+AV	0.77 ± 0.02	a AB	0.65 ± 0.04	a BC	0.74 ± 0.04	a A	0.67 ± 0.03	b AB
		-AV	0.77 ± 0.03	a AB	0.67 ± 0.03	a AB	0.74 ± 0.04	a A	0.71 ± 0.05	a A
	HID	+AV	0.75 ± 0.05	a B	0.60 ± 0.07	a C	0.77 ± 0.04	a A	0.67 ± 0.02	a AB
		-AV	0.76 ± 0.03	a AB	0.61 ± 0.06	a C	0.77 ± 0.03	a A	0.64 ± 0.06	a B
	JUT	+AV	0.78 ± 0.03	a A	0.71 ± 0.03	a AB	0.66 ± 0.06	b B	0.67 ± 0.03	a AB
		-AV	0.80 ± 0.01	a A	0.63 ± 0.04	b BC	0.75 ± 0.03	a A	0.66 ± 0.05	a B
$\phi E_o$	BIO	+AV	0.40 ± 0.06	a ABC	0.24 ± 0.04	a A	0.34 ± 0.06	a B	0.26 ± 0.02	b A
		-AV	0.38 ± 0.07	a BC	0.24 ± 0.03	a A	0.33 ± 0.07	a BC	0.30 ± 0.05	a A
	HID	+AV	0.35 ± 0.03	a C	0.23 ± 0.06	a A	0.41 ± 0.04	a A	0.27 ± 0.02	a A
		-AV	0.37 ± 0.04	a BC	0.22 ± 0.05	a A	0.40 ± 0.05	a A	0.27 ± 0.05	a A
	JUT	+AV	0.43 ± 0.04	a AB	0.27 ± 0.08	a A	0.27 ± 0.04	b C	0.26 ± 0.03	a A
		-AV	0.44 ± 0.04	a A	0.21 ± 0.06	b A	0.35 ± 0.03	a AB	0.28 ± 0.06	a A
$\phi D_o$	BIO	+AV	0.22 ± 0.02	a AB	0.35 ± 0.04	a AB	0.26 ± 0.04	a B	0.33 ± 0.03	a AB
		-AV	0.22 ± 0.01	a B	0.33 ± 0.03	a BC	0.26 ± 0.01	a B	0.29 ± 0.05	b B
	HID	+AV	0.22 ± 0.04	a A	0.40 ± 0.07	a A	0.23 ± 0.03	a B	0.33 ± 0.02	a AB
		-AV	0.25 ± 0.01	a AB	0.39 ± 0.06	a A	0.23 ± 0.03	a B	0.36 ± 0.06	a A
	JUT	+AV	0.22 ± 0.03	a B	0.29 ± 0.03	b C	0.34 ± 0.06	a A	0.33 ± 0.03	a A
		-AV	0.20 ± 0.01	a B	0.38 ± 0.05	a AB	0.25 ± 0.03	b B	0.32 ± 0.03	a AB
ABS/RC	BIO	+AV	2.54 ± 0.39	a AB	3.80 ± 0.31	a A	2.92 ± 0.64	a B	3.42 ± 0.44	a AB
		-AV	2.59 ± 0.39	a AB	3.71 ± 0.33	a A	3.07 ± 0.82	a AB	3.04 ± 0.54	a B
	HID	+AV	2.94 ± 0.52	a A	4.26 ± 0.76	a A	2.52 ± 0.59	a B	3.59 ± 0.14	a AB
		-AV	2.59 ± 0.41	a AB	4.37 ± 0.96	a A	2.40 ± 0.30	a B	3.82 ± 0.59	a A
	JUT	+AV	2.26 ± 0.35	a B	4.28 ± 1.34	a A	3.82 ± 0.96	a A	3.21 ± 0.51	a B
		-AV	2.19 ± 0.12	a B	3.73 ± 0.73	a A	2.81 ± 0.37	b B	3.55 ± 0.64	a AB
TR <sub>o</sub> /RC	BIO	+AV	1.99 ± 0.25	a AB	2.44 ± 0.12	a AB	2.15 ± 0.38	a AB	2.28 ± 0.23	a ABC
		-AV	1.96 ± 0.22	a AB	2.47 ± 0.16	a AB	2.18 ± 0.34	a AB	2.15 ± 0.25	a BC
	HID	+AV	2.17 ± 0.25	a A	2.52 ± 0.21	a AB	1.91 ± 0.35	a B	2.41 ± 0.08	a AB

		-AV	1.97 ± 0.24	a AB	2.61 ± 0.36	a A	1.85 ± 0.18	a B	2.43 ± 0.21	a A
	JUT	+AV	1.77 ± 0.25	a B	2.28 ± 0.31	b BC	2.49 ± 0.45	a A	2.12 ± 0.24	a C
		-AV	1.75 ± 0.10	a B	2.55 ± 0.21	a AB	2.11 ± 0.23	b AB	2.31 ± 0.26	a ABC
ET <sub>o</sub> /RC	BIO	+AV	1.01 ± 0.11	a AB	0.91 ± 0.10	a A	0.91 ± 0.05	a A	0.84 ± 0.06	a BC
		-AV	0.98 ± 0.10	a ABC	0.90 ± 0.11	a A	0.92 ± 0.04	a A	0.82 ± 0.06	a C
	HID	+AV	1.03 ± 0.08	a A	0.94 ± 0.22	a A	0.99 ± 0.14	a A	0.96 ± 0.08	a A
		-AV	0.90 ± 0.04	a C	0.93 ± 0.17	a A	0.93 ± 0.06	a A	1.01 ± 0.13	a A
	JUT	+AV	0.92 ± 0.04	a BC	0.90 ± 0.05	a A	0.99 ± 0.10	a A	0.83 ± 0.09	b BC
		-AV	0.96 ± 0.07	a ABC	0.89 ± 0.17	a A	0.97 ± 0.07	a A	0.93 ± 0.11	a AB
DI <sub>o</sub> /RC	BIO	+AV	0.56 ± 0.10	a AB	1.36 ± 0.24	a ABC	0.77 ± 0.27	a B	1.23 ± 0.32	a AB
		-AV	0.52 ± 0.05	a B	1.23 ± 0.20	a BC	0.67 ± 0.13	a B	0.90 ± 0.30	b B
	HID	+AV	0.68 ± 0.19	a A	1.74 ± 0.61	a A	0.56 ± 0.18	a B	1.18 ± 0.10	a AB
		-AV	0.55 ± 0.05	b B	1.76 ± 0.62	a A	0.56 ± 0.13	a B	1.40 ± 0.40	a A
	JUT	+AV	0.49 ± 0.13	a B	0.88 ± 0.15	b C	1.20 ± 0.35	a A	1.09 ± 0.28	a AB
		-AV	0.45 ± 0.04	a B	1.62 ± 0.42	a AB	0.64 ± 0.11	b B	1.06 ± 0.20	a AB
PI/abs	BIO	+AV	14.70 ± 5.39	a BC	3.05 ± 1.05	a AB	10.18 ± 4.95	a BC	3.93 ± 1.00	b A
		-AV	14.46 ± 6.75	a BC	3.29 ± 1.10	a AB	9.71 ± 4.97	a C	6.66 ± 4.45	a A
	HID	+AV	9.86 ± 4.31	a C	2.52 ± 1.23	a B	17.15 ± 8.28	a A	4.05 ± 0.88	a A
		-AV	12.71 ± 4.78	a C	2.45 ± 2.01	a B	16.22 ± 6.34	a AB	4.03 ± 2.60	a A
	JUT	+AV	20.70 ± 7.00	a AB	5.29 ± 3.36	a A	4.55 ± 1.90	b C	4.36 ± 1.54	a A
		-AV	22.73 ± 5.17	a A	2.31 ± 1.48	b B	10.16 ± 3.61	a BC	4.94 ± 2.57	a A

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (-AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

**Tabela 7:** Efeito da adubação verde (+AV e –AV representam a presença e a ausência da adubação verde, respectivamente) associados a três tipos de semeadura [Biomanta (BIO), Hidrosseadura (HID) ou saco de juta (JUT)] sobre os atributos foliares [suculência (SUC), densidade (DEN) area foliar específica (AFE) e coeficiente relativo de água (CRA)] de quatro espécies: *Schinus terebinthifolius* (P e NFN), *Psidium cattleianum* (NP e NFN), *Dalbergia ecastaphyllum* (P e FN) e *Inga laurina* (NP e FN) após 12 meses de plantio.

		12 Meses								
		Não Fixadoras de Nitrogênio				Fixadoras de Nitrogênio				
		Pioneira		Não pioneira		Pioneira		Não pioneira		
		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>P. cattleianum</i>		<i>D. ecastaphyllum</i>		<i>I. laurina</i>		
SUC	BIO	+AV	200.86 ± 26.18	a A	277.81 ± 48.14	a A	140.33 ± 6.68	a A	169.39 ± 11.78	a A
		-AV	197.57 ± 19.18	a AB	255.97 ± 26.35	a A	136.18 ± 9.20	a A	163.53 ± 16.08	a AB
	HID	+AV	205.04 ± 8.01	a A	242.73 ± 37.29	a A	140.46 ± 6.19	a A	149.46 ± 10.66	b B
		-AV	190.04 ± 28.22	a AB	244.68 ± 22.13	a A	145.79 ± 14.05	a A	169.41 ± 13.42	a A
	JUT	+AV	197.78 ± 38.18	a AB	262.82 ± 45.97	a A	139.90 ± 11.62	a A	153.60 ± 12.16	a AB
		-AV	170.14 ± 9.17	b B	261.83 ± 41.27	a A	143.87 ± 14.98	a A	154.49 ± 19.10	a AB
DEN	BIO	+AV	0.41 ± 0.02	a B	0.37 ± 0.06	a A	99.36 ± 0.04	a A	0.37 ± 0.04	b C
		-AV	0.40 ± 0.04	a B	0.40 ± 0.04	a A	102.39 ± 0.09	a A	0.41 ± 0.05	a ABC
	HID	+AV	0.41 ± 0.04	a B	0.41 ± 0.05	a A	0.40 ± 0.05	a A	0.44 ± 0.04	a AB
		-AV	0.41 ± 0.02	a B	0.37 ± 0.04	b A	0.41 ± 0.04	a A	0.38 ± 0.07	b BC
	JUT	+AV	0.46 ± 0.04	a A	0.39 ± 0.02	a A	0.43 ± 0.06	a A	0.45 ± 0.06	a A
		-AV	0.43 ± 0.03	a AB	0.40 ± 0.03	a A	0.42 ± 0.03	a A	0.39 ± 0.02	b BC
AFE	BIO	+AV	75.63 ± 9.44	a A	57.40 ± 6.46	b C	99.36 ± 11.77	a A	89.47 ± 4.98	a AB
		-AV	80.17 ± 8.24	a A	63.85 ± 4.60	a B	102.39 ± 11.95	a A	82.68 ± 7.98	b B
	HID	+AV	77.01 ± 9.54	a A	63.92 ± 2.11	b B	103.79 ± 9.05	a A	85.94 ± 4.65	a AB
		-AV	81.46 ± 9.01	a A	70.98 ± 3.42	a A	103.52 ± 8.09	a A	84.14 ± 7.17	a B
	JUT	+AV	75.67 ± 20.77	a A	60.23 ± 3.36	a BC	104.82 ± 21.37	a A	84.51 ± 7.93	b B
		-AV	86.81 ± 3.80	a A	64.07 ± 6.52	a B	95.31 ± 5.53	a A	93.92 ± 8.62	a A
CRA	BIO	+AV	84.28 ± 6.71	a A	55.16 ± 13.67	b AB	81.61 ± 7.00	a AB	74.80 ± 6.52	a A
		-AV	78.83 ± 6.41	a AB	63.90 ± 3.43	a A	69.44 ± 8.25	b C	62.80 ± 7.88	b B
	HID	+AV	79.48 ± 3.71	a AB	60.11 ± 9.57	a AB	82.90 ± 6.43	a A	64.64 ± 2.95	a AB
		-AV	80.53 ± 3.16	a AB	63.84 ± 5.19	a A	72.99 ± 7.67	b BC	64.42 ± 6.68	a AB
	JUT	+AV	79.81 ± 6.88	a AB	53.35 ± 6.29	a B	70.62 ± 7.18	a C	60.00 ± 14.14	a B
		-AV	75.09 ± 10.08	a B	55.80 ± 7.30	a AB	76.87 ± 9.65	a ABC	61.93 ± 10.25	a B

Médias seguidas de ± o desvio padrão. Letras minúsculas comparam o efeito da adubação verde (–AV e +AV) dentro de cada tratamento de solo por espécie. Letras maiúsculas comparam o efeito da adubação verde entre os tratamentos do solo (BIO, HID e JUT) por espécies para cada parâmetro avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. As médias que diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) estão marcadas em cinza. (n = 12)

### 6.2.2.3 Atributos foliares

Após 12 meses de tratamento, a SUC foi maior em *S. terebinthifolia* em +AV enquanto para *I. laurina* foi maior em -AV (Tabela 7). A DEN foi maior em +AV para a espécie *I. laurina* nos tratamentos hidrossemeadura e sacos de juta, mas menor em biomanta. Em *P. cattleianum*, a DEN foi maior em +AV em hidrossemeadura. A AFE foi maior em -AV para *P. cattleianum* em biomanta e hidrossemeadura e para *I. laurina* em sacos de juta, enquanto em biomanta a segunda espécie mostrou maiores valores para +AV. Para o CRA, no tratamento biomanta, *P. cattleianum* apresentou maiores valores em -AV enquanto para *I. laurina* e *D. ecastophyllum*, CRA aumentou em +AV. Os valores de CRA também diferiram em *Dalbergia ecastophyllum* em no hidrossemeadura, com os maiores valores obtidos em +AV (Tabela 7).

## 7. DISCUSSÃO

Neste estudo, foram avaliadas as respostas fisiológicas de *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *D. ecastophyllum* e *I. laurina*, espécies nativas da região norte do Espírito Santo, plantadas em uma área em processo de revegetação submetidas a presença ou ausência de adubo verde. O adubo foi semeado utilizando três diferentes técnicas: biomanta (BIO), hidrossemeadura (HID) e sacos de juta (JUT). A análise dos resultados obtidos permite descrever o comportamento fisiológico das espécies arbóreas em cada uma das técnicas testadas com o objetivo de verificar os benefícios que essas técnicas, associadas ao uso de adubo verde (AV), trazem ao desempenho fotoquímico, aos atributos foliares e índice de clorofila dessas plantas em um ambiente degradado, no qual os efeitos abióticos são mais severos. Assim, avaliar o desempenho das espécies arbóreas é essencial para aperfeiçoar a eficiência dos processos de restauração ecológica (VIANI et al., 2015)

As espécies utilizadas neste experimento estão distribuídas em dois grupos funcionais. O agrupamento principal está relacionado à capacidade de fixação biológica de nitrogênio, pois este fator é quem determina se o adubo verde tem ou não influência sobre aquele determinado grupo de espécies. A utilização do nitrogênio pelas plantas da família Fabaceae, como *D. ecastophyllum* e *I. laurina* (CANOSA et al, 2012), ocorre por meio da relação de associação com bactérias fixadoras, que se alojam nas raízes formando nódulos e através delas o nitrogênio livre é convertido em nitrogênio fixado para assimilação ou estoque pela planta (IQBAL et al., 2022). O nitrogênio é um dos elementos mais importantes para as espécies vegetais pois está

envolvido em diversos processos metabólicos, sendo um dos fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (HIREL; KRAPP, 2021; LEBAUER; TRESEDER, 2008). Além disso, a utilização de leguminosas como adubo verde ou em consórcios contribui para minimizar o uso de fertilizantes nitrogenados e melhorar a eficiência do uso do nitrogênio nas plantas (LIU et al., 2020; ZHAO et al., 2022).

O segundo grupo funcional considerado nesse estudo agrupa as espécies por pioneiras (*D. ecastophyllum* e *S. terebinthifolius*) e não pioneiras (*I. laurina* e *P. cattleianum*). As pioneiras possuem vantagens em relação ao seu desenvolvimento inicial e, ao se estabelecerem, fornecem suporte para o desenvolvimento de outras espécies (PIOTTO et al., 2020). Elas são espécies capazes de tolerar altas irradiâncias, baixa disponibilidade de nutrientes e água sem prejudicar o desempenho fotossintético das plantas e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento (CONTIN; MUNNÉ-BOSCH, 2016; NOGUEIRA et al., 2004; RIGUEIRA et al., 2012). Por isso, em áreas de revegetação, espécies pioneiras são essenciais para a recuperação inicial do solo, fornecendo nutrientes e sombreamento para espécies NP bem como um microclima mais ameno, auxiliando na recuperação das propriedades do solo (GUO et al., 2022; WANG, Li et al., 2017).

A partir dessa combinação de características, é possível justificar o comportamento das espécies, e a forma como se agrupam (nas PCAs e no teste de Tukey) influenciadas pelos tratamentos. Dentro de cada agrupamento, observou-se que o efeito do AV foi mais significativo nas espécies NP, ou seja, dentro de cada grupo (FN e NFN) existe um subagrupamento (P e NP) que indicam o grau de influência que a presença do adubo verde tem sobre cada espécie. A diferenciação do comportamento das plantas não está relacionada a determinadas espécies que se adaptam melhor, mas a relações de sucessão ecológica natural e obtenção de nutrientes que deverão fazer com que algumas se desenvolvam mais rapidamente, proporcionando um ambiente mais adequado ao desenvolvimento de espécies mais exigentes e com maior sensibilidade (MACIEIRA et al; 2020).

### ***7.1 Comportamento das espécies em relação ao adubo verde***

A partir das PCAs obtidas, é possível observar a formação de 2 eixos distintos que se repetem aos 6 e 12 meses (ver Figuras 2 e 4). O primeiro eixo que diferencia a presença e ausência do AV está relacionado atributos químicos do solo. O segundo eixo distribui as

espécies arbóreas de acordo com sua relação individual com os parâmetros analisados, principalmente os relacionados ao teste JIP (ver Figuras 2 e 4). A relação que cada uma das espécies tem com esses parâmetros resulta na formação de agrupamentos, indicando forte correlação para o grupo. Quando os valores das médias foram comparados, porém, observa-se a semelhança dos resultados entre fixadoras e não fixadoras de nitrogênio.

Nota-se nas PCAs que distribuem os parâmetros (Figuras 2 e 4) que a +AV está, em sua maioria, relacionada a parâmetros MO, K, Ca e P, indicando que esses atributos químicos estão presentes em maior concentração na presença do AV, como já descrito por MERLO MENDES et al. (2022). Além deles, o pH também tem uma forte correlação com a presença do adubo verde, o que indica uma redução da acidez do solo. A relação do Al e também da acidez potencial (H+Al) com a ausência de AV indicam que neste tratamento um maior poder tampão e uma maior resistência a mudança de pH.

Avaliando os resultados é possível notar que a utilização da adubação verde tem uma grande influência benéfica sobre *Schinus terebinthifolius* e *P. cattleianum*, ambas não fixadoras de nitrogênio. Porém, seu efeito não é tão expressivo em *I. laurina* e *D. ecastophyllum*, espécies fixadoras de nitrogênio (ver tabela 3 e 6). Analisando os subagrupamentos nota-se que pioneiras e não pioneiras são influenciadas em intensidades diferentes pelo adubo verde. No grupo de plantas NFN, *S. terebinthifolius* (pioneira) sofre uma menor influência do AV quando comparada a *P. cattleianum* (não pioneira), similarmente à *I. laurina* (não pioneira) em relação à espécie *D. ecastophyllum* (pioneira).

*Schinus terebinthifolius* e *P. cattleianum*, ambas não fixadoras de nitrogênio, apresentaram, de forma geral, aos 6 meses, comportamento similar (ver tabela 3), alcançando um desempenho superior na presença do adubo verde, o que é indicado pela relação entre fluxos específicos de energia (ABS/RC, DI<sub>o</sub>/RC, TR<sub>o</sub>/RC e ET<sub>o</sub>/RC) e rendimentos ( $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$  e  $\phi D_o$ ) avaliados no teste JIP.

O parâmetro ABS/RC relaciona o número de fótons absorvidos por moléculas de clorofila em razão do número de centros de reação ativos (MEHTA et al., 2010). Nos resultados apresentados para NFN em -AV (ver tabelas 3 e 6) ocorreu uma maior absorção associada uma maior captura (TR<sub>o</sub>/RC) e transporte de energia e (ET<sub>o</sub>/RC). Porém, a energia total dissipada como calor por centro de reação (DI<sub>o</sub>/RC) e a produção quântica da energia de dissipação ( $\phi D_o$ ) em *S. terebinthifolius* e *P. cattleianum* aumentou na ausência na adubação verde. Esses

parâmetros são considerados potenciais marcadores fisiológicos, pois representam uma via competitiva que funciona como mecanismo fotoprotetor pois essa condição poderia evitar a superprodução de quinona A reduzida (CHEN et al., 2016; KALAJI et al. 2017), indicando uma provável ativação do mecanismo de escape do FSII devido à alta luminosidade e temperatura.

Dentre os resultados apresentados é necessário destacar a diferença obtida entre os valores de índice de desempenho do FSII (PI/abs) em que o resultado apresentado para as espécies *P. cattleianum* e *S. terebinthifolius*, nas parcelas com o adubo verde, chega a ser o dobro quando comparadas à ausência. O PI/abs é um sensível indicador de fotoinibição nas plantas, por relacionar a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação pelo fotossistema II ( $\phi P_o$ ,  $\Psi E_o$  e  $\gamma RC$ ), proporcionando uma visão maior do grau de efeito do ambiente de estresse (BUSSOTTI et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2018; YUSUF et al., 2010). A alta variação do PI/abs associada à redução de  $\phi P_o$  e  $\phi E_o$  e ao aumento de  $\phi D_o$  em -AV reflete a ocorrência de um certo grau de fotoinibição nas plantas, indicando que, nas espécies cultivadas sob +AV, a estrutura do FSII está mais estável resultando, assim, em melhor desempenho das reações fotoquímicas (MA et al., 2021).

As espécies FN apresentaram um comportamento diferente daquele observado nas NFN. Para *Dalbergia ecastophyllum* (FN e P), aos 6 meses, nenhuma alteração foi observada para os parâmetros do teste JIP em nenhum dos tratamentos avaliados, indicando que a presença ou ausência do adubo verde não influenciou o seu desenvolvimento. Rincón-Molina et al. (2020) avaliaram a diversidade de bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas a plantas pioneiras. Segundo os autores, essa combinação contribui para facilitar a adaptação e proliferação de espécies capazes de realizar essas associações em ambientes adversos. Wang et al. (2022) afirma que a capacidade dessas espécies em fixar e acumular nitrogênio é uma vantagem a ser utilizada no crescimento e desenvolvimento das plantas. A ausência de efeitos do AV sobre o desempenho de *D. ecastophyllum* pode ser relacionada a sua facilidade adaptativa, visto que, além de ser uma espécie pioneira, apresenta a vantagem de fixar e acumular o nitrogênio, que será utilizado nos processos metabólicos essenciais, influenciando diretamente na sua capacidade de se adaptar ao ambiente.

Aos 12 meses, os parâmetros do teste-JIP não variaram em *S. terebinthifolius* (NFN e P) em -AV (ver tabela 6), mesmo comportamento apresentado em *D. ecastophyllum* (FN e P) aos 6 meses (ver tabela 3). Ambas as espécies são pioneiras, resistentes à alta exposição solar, o

que as tornam aptas a se desenvolverem a pleno sol, em ambientes com pouca ou nenhuma vegetação (CARPANEZZI, 1990). Além disso, possuem um rápido desenvolvimento e crescimento inicial, uma maior resistência a efeitos bióticos e abióticos e geralmente apresentam taxas fotossintéticas mais elevadas em comparação às espécies não pioneiras (PIÑA-RODRIGUES, et al.,1997; RIGUEIRA et al., 2012). Essas características tornam as espécies pioneiras uma peça-chave no processo de recuperação de ecossistemas e ambientes degradados (CARPANEZZI, 1992). Isso pode explicar a menor taxa de variação das espécies P quando comparadas as NP nos tratamentos aplicados.

O adubo verde promoveu um aumento na suculência das espécies NFN (*S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*) e também das NP (*P. cattleianum* e *I. laurina*). A suculência está relacionada à capacidade de armazenamento de água principalmente quando as plantas se encontram em um ambiente com baixa disponibilidade hídrica ou em períodos de pouca precipitação (CAMPELO et al., 2018; ROSADO; MATTOS, 2007). De acordo com Arruda et al. (2009), a suculência é um parâmetro diretamente relacionado a disponibilidade hídrica do solo. Assim, considerando que a coleta realizada aos 6 meses ocorreu durante a estação seca (inverno) da região, o aumento da suculência descrita para 3 das espécies analisadas na presença de AV indica maior disponibilidade de água neste tratamento, ou seja, um aumento na capacidade deste solo em reter água quando comparado a sua ausência.

Por outro lado, a ausência do AV elevou a suculência em *D. ecastophyllum* nos tratamentos com BIO e JUT, como apresentado na Tabela 4. A espécie *D. ecastophyllum*, possui a combinação de duas características adaptativas que beneficiam o seu desenvolvimento, ou seja, é fixadora de nitrogênio e também pioneira. Neste sentido, o aumento de SUC na ausência do AV observado para essa espécie reflete, como já afirmado anteriormente, o seu alto grau de adaptabilidade, o que provavelmente facilitou a aquisição de recursos.

Aos 6 meses, a densidade (DEN) foi maior em +AV para FN (em JUT para *S. terebinthifolius* e BIO para *P. cattleianum*) e em -AV para NFN (em BIO e JUT para *I. laurina* e JUT para *D. ecastophyllum*). Porém, após 12 meses, apenas as espécies NP apresentaram diferença significativa em DEN (*P. cattleianum* no tratamento de hidrossemeadura e *I. laurina* para todos os três tipos de semeadura). Em ambas as espécies, maior DEN foi obtida em +AV. Segundo Witkowski & Lamont (1991), a variação de DEN e também da área foliar podem ocorrer em resposta à disponibilidade de nutrientes, umidade ou luz, considerando que em solos

pobres e secos, as plantas apresentam folhas maiores e mais densas comparativamente aos ambientes úmidos e férteis.

Em ambientes pobres em recursos as plantas comumente adotam uma estratégia de conservação de recursos, mas em ambientes com alta disponibilidade a estratégia adotada é a de aquisição de recursos (DONOVAN et al., 2011; LEMOS et al., 2011; WRIGHT et al., 2004). Em ambos os casos, os recursos são investidos em diferentes processos do metabolismo visando a sobrevivência de acordo com as condições do ambiente. A área foliar específica (EFE) é indicador da estratégia de uso desses recursos (MELO JÚNIOR et al., 2019; WILSON et al., 1999) e, nesse estudo, a ausência do adubo verde promoveu um aumento de AFE das espécies NFN (*S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*) e também das NP (*P. cattleianum* e *I. laurina*). Westoby (1998) afirma que AFE é uma relação do investimento realizado pela planta em superfície de captura de luz. Castro-Díez et al. (1997) indicam que à medida que ocorre uma queda no nível de chuvas ou da disponibilidade de água, há uma tendência de aumento na AFE. Assim, o aumento deste parâmetro pode indicar uma estratégia das espécies para investir recursos em processos importantes do metabolismo.

O Conteúdo Relativo de Água (CRA) foi o parâmetro que menos variou nas espécies estudadas. *Schinus terebinthifolia*, *D. ecastophyllum* e *I. laurina* apresentaram, para ambas as épocas, um maior CRA em +AV. Esse parâmetro indica as condições hídricas nas plantas, bem como o conteúdo de água presente nas folhas (AREFI et al., 2022). O aumento do CRA para as plantas em +AV indica que a disponibilidade de água no tratamento +AV é maior, o que pode interferir diretamente para uma melhora em processos vitais do metabolismo vegetal.

A concentração de clorofila é naturalmente relacionada à concentração de nitrogênio na planta (ZHANG et al., 2021), por se tratar de um nutriente chave no processo de fotossíntese (QIN et al., 2021). As espécies NFN foram beneficiadas pelo AV, tanto no índice de clorofila como nos parâmetros do teste-JIP. A utilização de adubo verde composto principalmente por leguminosas capazes de fixar nitrogênio, é uma opção de substituição dos fertilizantes nitrogenados (SAGRILO et al., 2009), pois a sua presença pode aumentar o teor de nitrogênio do solo (PEOPLES et al. 1995; DRINKWATER et al. 1998). Assim, ele é obtido através da decomposição de matéria orgânica e da reintrodução do elemento presente na biomassa vegetal ao solo (SIFTON et al., 2022). Essa maior disponibilidade de nutrientes gerada pelo AV e a cobertura formada fornece um efeito protetor para o solo como observado por CHE et al (2022).

Muito embora a presença do adubo verde possa proporcionar uma maior disponibilidade nutricional devido à decomposição de matéria orgânica (CHEN et al., 2019; SAGRILO et al., 2009)), as espécies fixadoras de nitrogênio não foram beneficiadas pela sua utilização como mostram todos os resultados expostos. No índice de clorofila o grupo FN não apresenta um favorecimento pela +AV (ver tabelas 2 e 4). Esse efeito pode estar relacionado à facilidade com que *D. ecastophyllum* e *I. laurina* obtém nitrogênio bem como a competição gerada pelo desenvolvimento das outras espécies a partir do adubo verde.

De acordo com Huangfu *et al.* (2022), os microrganismos presentes no solo são capazes de realizar associações com as plantas funcionando como um potencializador dos mecanismos utilizados por elas (tolerância, defesa, obtenção de recursos, etc), como observado para as espécies FN. Porém, essas plantas podem ser afetadas por fatores como a competição entre espécies reduzindo, conseqüentemente, o seu desempenho fisiológico. Alguns autores destacam que em ambientes onde a disponibilidade de recursos é maior ocorre uma competição mais intensa entre espécies influenciada por fatores ambientais que podem modificar a força e a direção dessa competição (SMITH-RAMESH & REYNOLDS, 2017 ; LEKBERG *et al.* , 2018 ; KLINEROVÁ & DOSTÁL, 2020). Além das quatro espécies arbóreas avaliadas, o AV utilizado nesse estudo é formado por uma espécie forrageira, uma crucífera e seis espécies de leguminosas que também requerem os nutrientes que disponíveis inicialmente no solo (PENG 2000), gerando uma competição por nutrientes entre espécies, o que pode beneficiar algumas e suprimir outras, como citado anteriormente.

Embora as espécies FN tenham uma vantagem para obter e acumular nitrogênio em comparação às outras, favorecendo o seu desenvolvimento em ambientes adversos (RINCÓN-MOLINA et al. 2020), quando o fator competição é levado em consideração, há uma diferença na obtenção e disponibilidade dos nutrientes no solo (HUANGFU *et al.*, 2022). De acordo com resultados do JIP-test obtidos nesse estudo, *D. ecastophyllum* tem o mesmo desempenho tanto em +AV quanto em -AV e *I. laurina*, em alguns casos, apresenta um melhor desempenho em -AV, sendo provavelmente um comportamento decorrente da sua vantagem competitiva em um ambiente pobre de nutrientes em relação as outras espécies, como salientado anteriormente.

A decomposição da MO fornecida pelas espécies que compõem o AV e a sua incorporação ao solo leva a um aumento na atividade microbiana e, conseqüentemente, na disponibilidade de nutrientes (WANG, Ting et al., 2022). Além disso, fornece uma cobertura ao solo, agindo como uma proteção aos efeitos abióticos como a erosão (NOVARA et al., 2011)

que incidem diretamente sobre ele, sendo, portanto, um recurso muito importante na sua recuperação de áreas impactadas, tornando o desenvolvimento de outras espécies com maior exigência nutricional possível.

Assim, observa-se que a adubação verde promoveu um aumento significativo nos parâmetros que refletem a eficiência fotoquímica ( $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$ ,  $PI/abs$ ) nas espécies não fixadoras de nitrogênio de forma similar nos três tipos de tratamento de semeadura avaliados. O aumento de parâmetros  $DI_o/RC$  e  $\phi D_o$  em -AV indicam a ativação de mecanismos de fotoproteção na ausência do adubo (CHEN et al., 2016; KALAJI et al. 2017; MERLO MENDES et al., 2022). Além disso, como observado por Merlo Mendes et al (2022) em um experimento realizado com as mesmas espécies avaliadas no presente estudo, o aumento no índice de clorofila influenciou diretamente o desempenho fotoquímico das espécies. O aumento de parâmetros como  $\phi P_o$  indica o potencial da adubação verde para facilitação na aquisição de recursos pelas espécies. A variação dos atributos foliares apresentados aqui também corroboram para indicar que na +AV ocorre um maior acúmulo e disponibilidade de recursos para NFN.

No grupo de espécie fixadoras de nitrogênio, a espécie pioneira (*D. ecastophyllum*) não teve sua eficiência fotoquímica afetada pelo adubo ou pelos tipos de semeadura. A espécie não pioneira (*I. laurina*), por sua vez, apresentou diferença em alguns parâmetros do teste JIP indicando um aumento na absorção associada a uma maior captura ( $TR_o/RC$ ) de energia em -AV. Além disso, apresentou uma maior produção quântica da energia de dissipação ( $\phi D_o$ ) para -AV. No geral, o comportamento das espécies nos três tipos de semeadura não variou, o que impossibilitou destacar um dos três como mais eficaz.

## 8. CONCLUSÕES

Cada uma das quatro espécies arbóreas utilizadas neste experimento possui características que as tornam únicas em relação à utilização de recursos e tolerância às condições do ambiente. Em outras palavras, os resultados obtidos permitem concluir que essas espécies utilizaram diferentes estratégias e mecanismos para a adaptação e desenvolvimento. O comportamento das espécies é diferenciado na presença ou ausência do adubo verde. Além disso, as espécies não pioneiras foram mais influenciadas por esses fatores quando comparadas as pioneiras.

O grupo funcional composto por plantas NFN obteve maior vantagem em +AV, com maior desenvolvimento e melhor desempenho fotoquímico. O grupo funcional formado pelas

espécies FN obteve maior status nutricional em –AV. Contudo, a presença de AV não reduziu o seu desempenho fotoquímico. *D. ecastophyllum* (FN e P) foi a espécie com a menor relação de resultados significativos para o teste de media, indicando a sua adaptação em ambos os ambientes (+AV e –AV). Ao contrário, para *P. cattleianum* (NFN e NP) uma alta variação de resultados foi obtida quando comparamos a presença e ausência do AV, indicando que +AV beneficiou seu desenvolvimento.

Por fim, os três tratamentos de semeadura (BIO, HID, JUT) mostraram-se eficientes em estabelecer o adubo verde no talude. Nenhuma das três técnicas apresentou rendimento superior, indicando que a escolha por uma delas deve levar em consideração outros fatores como mão de obra, disponibilidade e custo.

## 9. REFERÊNCIAS

ALLNUTT, T. F. et al (2008). A Method for Quantifying Biodiversity Loss and Its Application to a 50-Year Record of Deforestation across Madagascar. **Conservation Letters**, v. 1, n. 4, p. 173–181, 2008.

ÁLVARES, C.A *et al.* (2013). Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728.

AMBROSANO, E. J. et al. (2005). Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. *Informações Agrônomicas*, v. 112, n. 1, p. 1-16, 2005.

AQUINO, A. R. de et al. (2016). *Sustentabilidade ambiental*. 2016.

ARAÚJO FILHO, R.N., HOLANDA, F.S.R., SANTANA, S.A. (2013). Técnica de bioengenharia de solos no controle da erosão no Baixo São Francisco sergipano. **Scientia Plena** vol. 25, n. 3/4, p.242-250. Magistra, Cruz das Almas.

ARAÚJO, É. de V. et al. (2020). Chapter 6 - The Chemical Warfare Involved in Endophytic Microorganisms-Plant Associations. In: KUMAR, Ajay; E.K, Radhakrishnan (Org.). . **Microbial Endophytes**. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2020. p. 125–159. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128196540000065>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

AREFI, M. et al (2022). Draught force prediction from soil relative density and relative water content for a non-winged chisel blade using finite element modelling. **Journal of Terramechanics**, v. 100, p. 73-80, 2022.

ARRUDA, R. C. O. et al (2009). **Anatomia foliar de halófitas e psamófilas reptantes ocorrentes na Restinga de Ipitangas, Saquarema, Rio de Janeiro, Brasil**. *Rodriguésia*, v. 60, p. 333–352.

AZAILA, D et al. (2016). Germination of seeds of some local pioneer plant species in different hydroseeding mulches for revegetation of post-coal mining soil. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, v. 3, n. 4, p. 609.

BASTOLA, S. et al (2018). The Role of Vegetation on Gully Erosion Stabilization at a Severely Degraded Landscape: A Case Study from Calhoun Experimental Critical Zone Observatory. **Geomorphology**, v. 308, p. 25–39, 1 maio 2018.

BISCHETTI, G. B. *et al.* (2014). On the origin of soil bioengineering. **Landscape Research**, v. 39, n. 5, p. 583-595.

BOLDT-BURISCH, K. et al. (2015). Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 4, p. 357–365, jul. 2015.

BRASILEIRO, R. S.(2009). Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 2009.

BRUCH, A. F. et al. (2020). Análise do risco potencial à erosão em aterro de resíduos sólidos através de aerolevantamentos com veículo aéreo não tripulado e técnicas de álgebra de mapas. **AMBIÊNCIA**, v. 16, n. 2, p. 1110-1131, 2020.

BUSSOTTI, F. et al (2010). The JIP test: a tool to screen the capacity of plant adaptation to climate change. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 25, n. sup8, p. 43–50, 1 ago. 2010.

CAMPELO, D. H. et al (2018). Características morfofisiológicas foliares e estado nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 924–936.

CANOSA, G. A et al (2012). Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico. **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E).

CARPANEZZI, A. A. et al (1990). Funções múltiplas das florestas: conservação e recuperação do meio ambiente. In: **Congresso Florestal Brasileiro**. 1990. p. 216-221.

CARPANEZZI, A.A. (1992) Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação de laboratórios naturais. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6., Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão, SP, **Sociedade Brasileira de Silvicultura**, p.216-221.

CASTRO-DIEZ P. et al. (1997). Leaf morphology and leaf chemical composition in three Quercus (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Trees (Berl)* 11:127–194

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. (2011). Leaf attributes and tree growth in a tropical dry forest. **Journal of Vegetation Science**, v. 22, n. 5, p. 917-931, 2011.

CHE, T. et al (2022). Mixed planting reduces the shaping ability of legume cover crop on soil microbial community structure. **Applied Soil Ecology**, v. 178, p. 104581, 2022.

CHEN, J. et al (2019). The composition of nitrogen-fixing microorganisms correlates with soil nitrogen content during reforestation: a comparison between legume and non-legume plantations. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 508.

CHEN, S. et al (2022). Impact of Slope Position on Soil Erodibility Indicators in Rolling Hill Regions of Northeast China. **CATENA**, v. 217, p. 106475.

CHOUDHURY, A. T. M. A.; KENNEDY, I. R. (2005). Nitrogen Fertilizer Losses from Rice Soils and Control of Environmental Pollution Problems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 11–12, p. 1625–1639, 1 jun. 2005.

CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J. (2013). “Carbon and other biogeochemical cycles,” in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press), 465–570, 2013.

CLEVELAND, Cory C. et al. (1999). Global Patterns of Terrestrial Biological Nitrogen (N<sub>2</sub>) Fixation in Natural Ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 13, n. 2, p. 623–645, 1999.

COELHO, A.T.; PEREIRA, A. R (2006). **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Belo Horizonte: FAPI Ltda. 20 p. Boletim Técnico.

CONTIN, D. R.; MUNNÉ-BOSCH, S. (2016). Interspecific variation in vitamin E levels and the extent of lipid peroxidation in pioneer and non-pioneer species used in tropical forest restoration. *Tree Physiology*, v. 36, n. 9, p. 1151–1161.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. (1990). *Use of Vegetation in Civil Engineering*. Londres/Inglaterra: **Butterworths**, 1990.

COUTO, L. *et al* (2010). **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Viçosa, MG: CBCN.

DALL’AGNOL, R. et al. (2022). Soil-Sediment Linkage and Trace Element Contamination in Forested/Deforested Areas of the Itacaiúnas River Watershed, Brazil: To What Extent Land-Use Change Plays a Role? **Science of The Total Environment**, v. 828, p. 154327, 1 jul. 2022.

DE FARIAS NETO, A. L. et al. (2008). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

DONOVAN, L.A. et al. (2011). The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. **Trends in Ecology and Evolution**, 26:88-95.

DRINKWATER, L. E. et al. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, v. 396, n. 6708, p. 262-265.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. (1990). *Recomposição de matas ciliares*. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 4, p. 14, 1990.

EMBRAPA (2011). *Manual de métodos de análise de solo*. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**. Org: DONAGEM, Guilherme Kangussú *et al*.

EVANS, J.R.; POORTER, H (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, cell & environment**, v. 24, n. 8, p. 755-767.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. (2006). Confounding Factors in the Detection of Species Responses to Habitat Fragmentation. **Biological Reviews**, v. 81, n. 1, p. 117–142, fev. 2006.

FERNANDES, E. A.; CUNHA, N.R.S.; SILVA, R. G. (2005). Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, p. 179-198, 2005.

FERREIRA NETO, R. et al (2017). Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminosae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 1474–1480, 1 nov.

GLUFKE C. (1999). Espécies Florestais Recomendadas para Recuperação de Áreas Degradadas. Porto Alegre: **Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul**, 1999.

GOBINATH, R. et al (2022). Chapter 18 - Ecoengineering Practices for Soil Degradation Protection of Vulnerable Hill Slopes. In: POURGHASEMI, Hamid Reza (Org.). . **Computers in Earth and Environmental Sciences**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 255–270. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323898614000026>>.

GONÇALVES, J.F.C. et al. (2010). Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 89–98.

GONÇALVES, J.F.C.; MARENCO, R.A.; VIEIRA, G. (2001.) Concentration of photosynthetic pigments and Chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka Bean under two light environments. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, 13(2):149-157.

GOODALE, U. M. et al. (2012). Disturbance and tropical pioneer species: Patterns of association across life history stages. **Forest Ecology and Management**, 277:54-66.

GRAY, D.H & SOTIR, R.B (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. **John Wiley (Eds.)**, New York. 378p.

GRIS, D.; TEMPONI, L. G.; MARCON, T. R. Native species indicated for degraded area recovery in Western Paraná, Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.1, p. 113-125, 2012.

GSWCC (2014). Manual For Erosion And Sediment Control In Georgia (MESCG), Georgia Soil and Water Conservation Commission. Sixth Edition. p. 15.

GUIMARÃES, Z.T.M. et al. (2018). Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 618-628, 2018.

GUO, M. N. et al. (2022). Biogeochemical Dynamics of Nutrients and Rare Earth Elements (REEs) during Natural Succession from Biocrusts to Pioneer Plants in REE Mine Tailings in Southern China. **Science of The Total Environment**, v. 828, p. 154361.

HARTANTO, H. et al. (2003). Factors Affecting Runoff and Soil Erosion: Plot-Level Soil Loss Monitoring for Assessing Sustainability of Forest Management. **Forest Ecology and**

**Management**, v. 180, n. 1, p. 361–374, 17 jul. 2003.

HARTSHORN, G. S., (1978). Treefalls and tropical forest dynamics, pp. 617-638. In: P. B. Tomlinson & M. H. Zimmermann (eds.), *Tropical trees as living systems*, Cambridge Univ. Press, New York.

HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A.; SCHEU, S. (2005). Biodiversity and Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, p. 191–218, 1 dez. 2005.

HENRIQUES, F. S. (2010). The Uncertain Future of Tropical Forests. **Revista de Ciências Agrárias**. 33 (2): 265-271. December, 2010.

HIREL, B.; KRAPP, A. (2021). Amino Acids | Nitrogen Utilization in Plants I Biological and Agronomic Importance. In: JEZ, Joseph (Org.). . **Encyclopedia of Biological Chemistry III (Third Edition)**. Oxford: Elsevier, 2021. p. 127–140. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012809633821265X>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

HOLANDA, F. S. R. et al. (2009). Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas a técnica da bioengenharia de solos. **Ra'e Ga**, n. 17, p. 93–102.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. *Nature Education Knowledge* 4(4):4. 2013. Disponível em: <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/restoring-tropical-forest-97756726>.

HUANGFU, C. et al. (2022). Density-Dependent Plant-Soil Feedbacks of Two Plant Species Affected by Plant Competition. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150908, 10 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília, p. 96, 1990.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y .O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P .R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA**, p. 1132, 2014.

IQBAL, Nasir et al. (2022). Clade-Dependent Effects of Drought on Nitrogen Fixation and Its Components – Number, Size, and Activity of Nodules in Legumes. **Field Crops Research**, v. 284, p. 108586, 1 ago. 2022.

KALAJI H. M. et al. (2016). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiol. Plant.* 38 102 10.1007/s11738-016-2113-y.

KLINEROVÁ T, TASEVOVÁ K, DOSTÁL P. (2018). Large generative and vegetative reproduction independently increases global success of perennial plants from central Europe. **Journal of Biogeography** **45**: 1550– 1559.

KLUGE, M., & TING, I. P. (2012). Crassulacean acid metabolism: analysis of an ecological adaptation (Vol. 30). **Springer Science & Business Media**.

LAMBERS, H., CHAPIN, III F. S.; PONS, T. L. (2008). Plant Physiological Ecology. Springer. 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>.

LEBAUER, D. S.; TRESEDER, K. K. (2008). Nitrogen Limitation of Net Primary Productivity in Terrestrial Ecosystems Is Globally Distributed. **Ecology**, v. 89, n. 2, p. 371–379.

LEITE DE LIMA, A. P.; DAMATO, J.; DE SOUZA, C. M. (2014). Avaliação de um consórcio gramínea-leguminosa na revegetação de um talude e sua influência na temperatura e umidade do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 249-253, 7 Jun. 2014.

LEKBERG Y, et al. 2018. Relative importance of competition and plant–soil feedback, their synergy, context dependency and implications for coexistence. **Ecology Letters** **21**: 1268– 1281.

LIN, S. et al. (2022). Soil Carbon, Nutrients and Their Stoichiometry Decrement in Relation to Paddy Field Degradation: Investigation in a Subtropical Region. **CATENA**, v. 217, p. 106484.

LIU, M. et al. (2020). Interactions between Intercropped Avena Sativa and Agropyron Cristatum for Nitrogen Uptake. **Plant and Soil**, v. 447, n. 1, p. 611–621.

LOPES, A. S. (1998). Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos, p. 79-85, 1998.

MA, Y. et al (2021). Alleviatory Effect of Rare Earth Micro-Fertilizer on Photosystem II (PSII) Photoinhibition in Pseudostellaria Heterophylla Leaves at Photosynthetic Midday Depression. **Journal of Rare Earths**.

MACHADO, C. J. S. et al. (2013). Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 28, n. 0. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/30168>>.

MACIEIRA, B. P. B. et al. (2020). Stem and leaf functional traits allow successional classification in six pioneer and non-pioneer tree species in Tropical Moist Broadleaved Forests. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106254.

MARMAGNE, A.; MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; CHARDON, F. (2022). Modulation of Plant Nitrogen Remobilization and Postflowering Nitrogen Uptake under Environmental Stresses. **Journal of Plant Physiology**, p. 153781, 21 jul. 2022.

MEHTA, P. et al (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 16-20.

MELO JÚNIOR, J. C. F. et al. (2019) Adaptações estruturais e potencial plástico de Schinus terebinthifolia Raddi.(Anacardiaceae) em diferentes formações de restinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 06, p. 2218-2238.

- MELO, F.L. *et al* (2013). Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 116-124.
- MERLO MENDES, M. *et al.* (2022). Photosynthesis and Leaf Traits of Tree Species Influenced by Green Manure Associated with Soil Treatments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 16, p. 2064–2081.
- MYERS, N. *et al.* (2000). Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.
- NOGUEIRA, A. *et al.* (2004). Photosynthesis and Water Use Efficiency in Twenty Tropical Tree Species of Differing Succession Status in a Brazilian Reforestation. **Photosynthetica**, v. 42, n. 3, p. 351–356.
- NOVARA, A. *et al.* (2011). Soil Erosion Assessment on Tillage and Alternative Soil Managements in a Sicilian Vineyard. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 140–147.
- ODUM, E. P. (1998). *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. 1988.
- OLIVEIRA, W. *et al.* (2018). Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2592–2603.
- PAULA, A. de *et al.* (2004). Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 407-423, 2004.
- PEOPLES M, HERRIDGE D, LADHA J (1995) Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil* 174:3-28
- PEREIRA, A. R. (2006). Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2006. **Deflor Bioengenharia, Belo Horizonte**.
- PETERSEN, S. L.; ROUNDY, B. A.; BRYANT, R. M. (2004) Revegetation methods for high-elevation roadsides at Bryce Canyon National Park, Utah. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 2, p. 248-257.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.*et al* . (1997). Sistemas de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de custo-benefício com o sistema tradicional. **Floresta e Ambiente**, v. 4, p. 30-41, 1997.
- PIOTTO, D. *et al.* (2020) Restoration Plantings of Non-Pioneer Tree Species in Open Fields, Young Secondary Forests, and Rubber Plantations in Bahia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 474, p. 118389.
- POORTER, L.; BONGERS, F. (2006). As características das folhas são bons preditores do desempenho das plantas em 53 espécies de florestas tropicais. **Ecologia** , v. 87, n. 7, pág. 1733-1743, 2006.
- QIN, Jian *et al.* (2021). Responses of Nitrogen Metabolism, Photosynthetic parameter and Growth to Nitrogen Fertilization in *Cyclocarya paliurus*. **Forest Ecology and Management**, v. 502, p. 119715.
- R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, **Vienna, Austria**. <https://www.Rproject.org/>.

RÉ, T. M. (2007). **O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

REMAURY, A et al (2019). The effect of tree planting density on the relative development of weeds and hybrid poplars on revegetated mine slopes vulnerable to erosion. **New Forests**, v. 50, n. 4, p. 555-572.

REZENDE, C. L. et al. (2018). From Hotspot to Hopespot: An Opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 1 out. 2018.

RIGUEIRA, D. M. G. et al. (2012). Influência da distância da borda e do adensamento foliar sobre a abundância de plantas pioneiras em um fragmento de floresta tropical submontana na Estação Ecológica de Wenceslau Guimarães (Bahia, Brasil). *Acta Botanica Brasilica*, v. 26, p. 197–202.

RINCÓN-MOLINA, C. I. et al. (2020). Plant growth-promoting potential of bacteria associated to pioneer plants from an active volcanic site of Chiapas (Mexico). **Applied Soil Ecology**, v. 146, p. 103390.

RODRIGUES, C. S. et al. (2012). Grupos funcionais de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 1385–1393, jun. 2012.

ROSADO, B. H. P.; MATTOS, E. A. (2007). Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 3, p. 741–752.

SAGRILO, E. et al. (2009) Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde. p. 22.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SARAIVA, D. F. et al. (2020). Gramíneas nativas potenciais para revegetação de áreas degradadas, a partir da avaliação de *topsoil* de Campo Rupestre Ferruginoso. **Hoehnea**, v. 47, 6 nov. 2020. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/hoehnea/a/v9LkqBGsSFCzQQ54vKYNvnm/>>. Acesso em: 2 ago. 2022.

SHABANAMOL, S. et al. (2018). Characterization and in Planta Nitrogen Fixation of Plant Growth Promoting Endophytic Diazotrophic Lysinibacillus Sphaericus Isolated from Rice (Oryza Sativa). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 102, p. 46–54, 1 abr. 2018.

SIFTON, M. A. et al. (2022). Interactive Effects of Biochar and N-Fixing Companion Plants on Growth and Physiology of Acer Saccharinum. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 74, p. 127652.

SILVA, C.F. da et al. (2015). Soil fertility and humic substances in an area of clay extraction revegetated with eucalypt and legumes in the North of Rio de Janeiro state/Fertilidade do solo e substancias humicas em area de cava de extracao de argila revegetada com eucalipto e leguminosas no Norte Fluminense. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 3, p. 547–562.

SILVA, E. C. et al. (2014). Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: LIMA 34 FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 7, p. 265-306.

SILVA, W. M. et al. (2017). Estrutura e sucessão ecológica de uma comunidade florestal urbana no sul do Espírito Santo. **Rodriguésia**, v. 68, p. 301-314, 2017.

SILVIA, P. E. de M.; et al. (2011). Fluorescência da clorofila-a e variação da simetria como ferramentas de investigação de plantas sob estresse. *Idesia*, v. 29, n. 3, p. 45-52, 2011.

SINGH, A. et al. (2022). Chapter 5 - How the Soil Nitrogen Nutrient Promotes Plant Growth—a Critical Assessment. In: SINGH, Harikesh Bahadur; VAISHNAV, Anukool (Org.). **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 99–118. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323855815000185>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

SMITH-RAMESH LM, REYNOLDS HL. (2017). The next frontier of plant–soil feedback research: unraveling context dependence across biotic and abiotic gradients. **Journal of Vegetation Science** **28**: 484– 494.

**SOS Mata Atlântica**. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

STIRBET, A., AND GOVINDJEE. (2012). Chlorophyll a fluorescence induction: A personal perspective of the thermal phase, the J–I–P rise. **Photosynthesis Research** **113** (1–3):15–61. doi:10.1007/s11120-012-9754-5.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: **Chlorophyll a fluorescence**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 321-362.

TAIZ, L. et al. (2017). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora.

VIANI, R. A. G. et al. (2015). Animal-Dispersed Pioneer Trees Enhance the Early Regeneration in Atlantic Forest Restoration Plantations. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 1, p. 41–46.

WANG, L. et al. (2017). A Review on in Situ Phytoremediation of Mine Tailings. **Chemosphere**, v. 184, p. 594–600.

WANG, T. et al. (2022). Tea Plantation Intercropping Green Manure Enhances Soil Functional Microbial Abundance and Multifunctionality Resistance to Drying-Rewetting Cycles. **Science of The Total Environment**, v. 810, p. 151282.

WATSON, C. D. et al. (2022). Global Meta-Analysis Shows Progress towards Recovery of Soil Microbiota Following Revegetation. **Biological Conservation**, v. 272, p. 109592, 1 ago. 2022.

WERDEN, L. K. et al. (2018). Using soil amendments and plant functional traits to select native tropical dry forest species for the restoration of degraded Vertisols. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 2, p. 1019-1028, 2018.

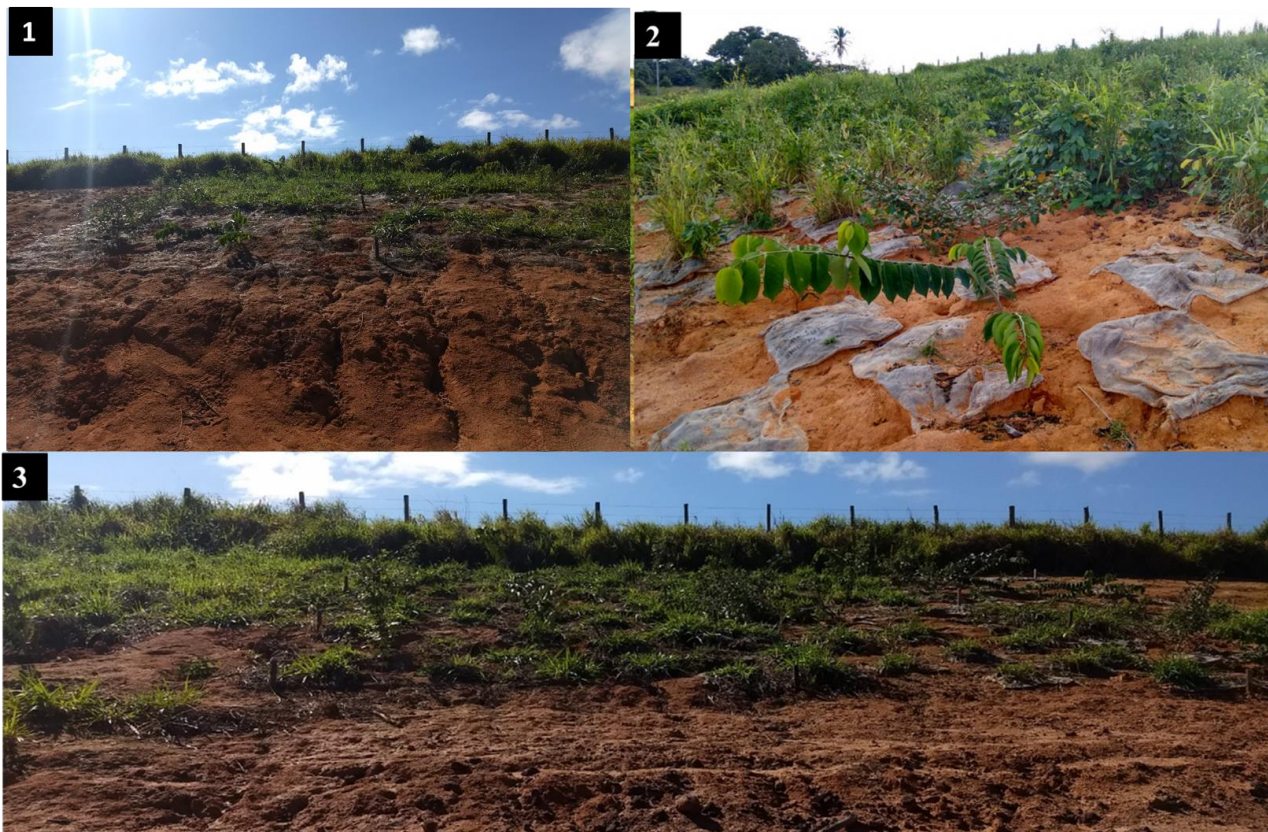
WESTOBY M. (1998). A leaf–height–seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* **199**: 213–227.

- WILSON, P.J., THOMPSON, K., HODGSON, J.G., (1999). Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. **New Phytology** 143, 155-162.
- WITKOWSKI, E. T. F., & LAMONT, B. B. (1991). Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, 88(4), 486-493.
- WRIGHT I.J. et al. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 498:821-827
- YUSUF, M. (2010). Aslam et al. Overexpression of  $\gamma$ -Tocopherol Methyl Transferase Gene in Transgenic Brassica Juncea Plants Alleviates Abiotic Stress: Physiological and Chlorophyll a Fluorescence Measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1797, n. 8, p. 1428–1438.
- ZAMAN, K. (2022). Environmental Cost of Deforestation in Brazil’s Amazon Rainforest: Controlling Biocapacity Deficit and Renewable Wastes for Conserving Forest Resources. **Forest Ecology and Management**, v. 504, p. 119854, 15 jan. 2022.
- ZHANG, K. et al. (2021). A New Canopy Chlorophyll Index-Based Paddy Rice Critical Nitrogen Dilution Curve in Eastern China. **Field Crops Research**, v. 266, p. 108139.
- ZHAO, Y. et al. (2022). Nitrogen Fixation and Transfer between Legumes and Cereals under Various Cropping Regimes. **Rhizosphere**, v. 22, p. 100546.
- ZHENG, X. et al. (2020). Effects of Re-Vegetation Restoration on Soil Bacterial Community Structure in Degraded Land in Subtropical China. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, p. 103184, 1 maio 2020.

# APÊNDICES

**APÊNDICE A – Área experimental inicial**

**APÊNDICE B – Tratamentos de semeadura aplicados na área: BIO (1), JUT (2) e HID (3)**



### APÊNDICE C – Área do experimento 36 meses após o plantio

