

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

**LAÍS DA SILVA MAGEVSKI**

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS NA  
REVEGETAÇÃO DE ÁREAS IMPACTADAS PELA EXTRAÇÃO DE  
ARGILA**

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

Linha de Pesquisa no PPGBV: Ecologia Funcional de Algas e Plantas

Vitória, ES  
Outubro, 2022

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS NA  
REVEGETAÇÃO DE ÁREAS IMPACTADAS PELA EXTRAÇÃO DE  
ARGILA**

Aprovado em \_\_\_\_\_ de outubro de 2022

**Comissão Examinadora:**

---

**Dr<sup>a</sup>. Diolina Moura Silva - UFES**  
Examinador Interno

---

**Dr<sup>a</sup>. Elisa Mitsuko Aoyama - UFES**  
Examinador Externo

---

**Dr. Antelmo Ralph Falqueto - UFES**  
Orientador

## RESUMO

O aumento da conscientização ambiental na sociedade e a preocupação com o futuro do Homem e da Natureza faz com que haja uma procura crescente por meios adequados de recuperar e revegetar áreas que foram impactadas. Assim, este projeto busca avaliar três técnicas de plantio (hidrossemeadura, biomanta e sacos de juta) combinadas com a utilização de adubação verde para estabelecimento de 4 espécies nativas. Esse processo ocorreu em um talude formado pela extração de argila, utilizada na instalação de bases de exploração de petróleo. Foram avaliados os dados fisiológicos das espécies vegetais em conjunto com as análises químicas de solo. O experimento foi instalado em campo no mês de fevereiro de 2018 e as coletas foram realizadas aos 6 e 12 meses após o plantio das mudas. Nas análises buscou-se observar a evolução e adaptação das plantas ao decorrer do tempo influenciadas pelos tratamentos aplicados. Nos resultados apresentados nas PCAs nota-se que no primeiro eixo ocorre uma divisão principal relacionada a nutrição mineral do solo dividindo as espécies em 2 agrupamentos, plantas que receberam o adubo verde e que não receberam e no segundo eixo uma divisão da relação entre as espécies que foi melhor abordada utilizando o teste media. No teste Tukey é possível observar que as características funcionais das plantas pioneiras (P), não pioneiras (NP), fixadoras de nitrogênio (FN) e não fixadoras de nitrogênio (NFN) as individualizam e agrupam dentro dos resultados. Esses grupos são evidenciados no efeito que o adubo verde tem sobre eles (agrupamento) e também no grau de influência sobre cada espécie (Subagrupamento), criando uma divisão e uma subdivisão de influência.

**Palavras chave:** Bioengenharia • fisiologia • fluorescência • nutrientes • Teste JIP•

## 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 facilitados (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 de 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 de 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. 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.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Analisar o comportamento dos grupos funcionais formados pelas espécies vegetais utilizadas à aplicação do adubo verde nos tratamentos de semeadura.
- 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.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. *Sítio do estudo***

A área experimental está localizada no município de São Mateus, região norte do Espírito Santo, em uma área de extração de argila pertencente à Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), na jazida denominada “Inhambu” (Latitude 18°53’44’’S e longitude 39°52’35’’O). 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 visando 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%.

### **4.2. *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>. Segundo Prezotti et al. (2013), é possível observar que a maioria dos atributos químicos do solo está abaixo dos valores ideais, além do solo possuir uma acidez elevada o que influencia diretamente na disponibilidade desses nutrientes para a planta. Foi realizado o processo de calagem e adubação para neutralizar a acidez, antes da implantação do experimento.

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, destorroadas, 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).

### **4.3. 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 bioengenharia de solo 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, um mix de adubos verdes foi aplicado, 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.

#### **4.4. Avaliações fisiológicas**

##### *4.4.1 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 (Fo a Fm) foi registrada de 10 $\mu$ s a 1s. Foram coletados dados da intensidade da fluorescência a 0,02 ms (Fo), 2 ms (FJ), 30 ms (FI) e 300 ms (FP) 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 a 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>	
$\phi P0 = TR0 / ABS = [1 - (F0/FM)] = FV/FM$	Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária
$\phi E0 = ET0 / ABS = [1 - (F0/FM)] \psi0 = \phi P0 \psi1$	Probabilidade de um fóton absorvido tem de se mover além de QA-
$\phi D0 = 1 - \phi P0 = (F0/FM)$	Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor
<b>Fluxos específicos de energia (por QA reduzindo centro de reação do FSII)</b>	
$ABS/RC = M0 / VJ / \phi P0$	Fluxo de absorção por centro de reação ativo
$DI0/RC = [(ABS / RC) - (TR0 / RC)]$	Energia total dissipada como calor por centro de reação
$TR0/RC = M0/VJ$	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação, em t=0
$ET0/RC = (M0/VJ) \times \psi E0 = (M0/VJ) \times (1 - VJ)$	Fluxo de transporte de elétrons por RC em t = 0
<b>Índices de desempenho</b>	
$PIabs = RC / ABS * \phi P0 / (1 - \phi P0) * \psi E0 / (1 - \psi E0)$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema

#### 4.4.2 *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).

#### 4.4.3 *Índice de pigmentos fotossintéticos*

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.

#### 4.5. *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.

## 5. RESULTADOS

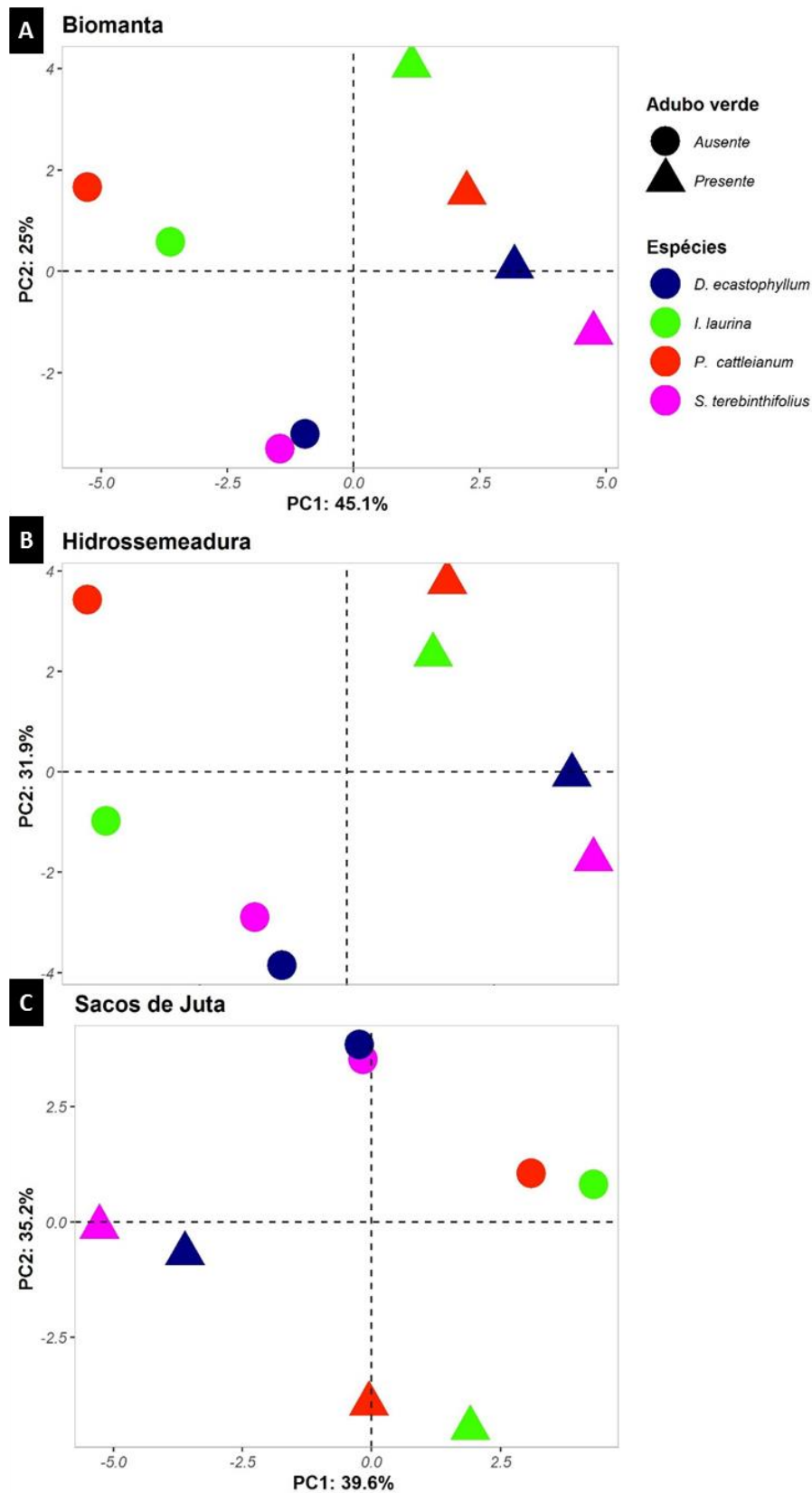
### *5.1 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 6 meses da implantação do experimento*

#### *5.1.1 Análise Multivariada*

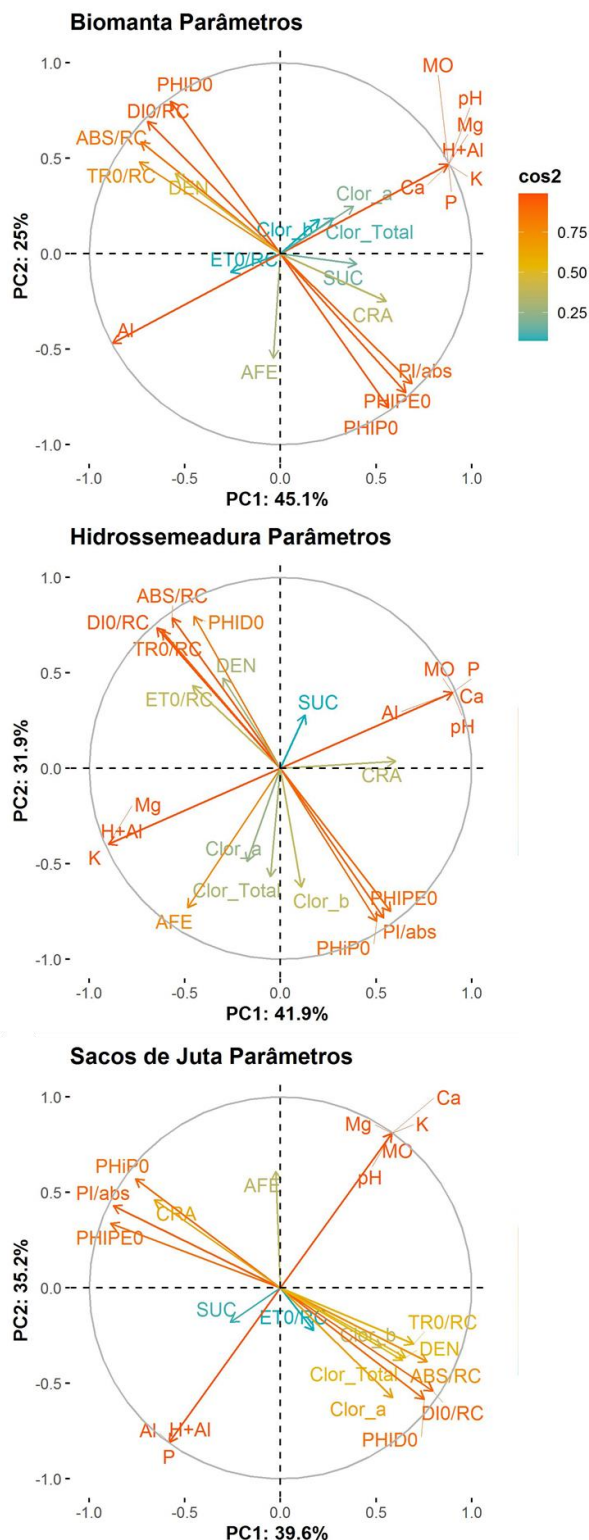
A figura 1 apresenta os dados da PCA obtidos para os tratamentos Biomanta (Figura 1A) Hidrosseadura (Figura 1B) e saco de juta (Figura 1C) após seis meses da implantação dos tratamentos. Os resultados mostraram a dispersão das quatro espécies arbóreas avaliadas de acordo com a presença ou ausência do adubo verde. Para os tratamentos de Biomanta, Hidrosseadura 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 mix 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. A -AV neste caso está relacionada a um maior 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, DIO/RC, ET0/RC, ET/RC, PI/abs,  $\phi_{Po}$ ,  $\phi_{Eo}$ ,  $\phi_{Do}$ ), 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.

### **5.1.2 Teste Tukey**

#### *5.1.2.1 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)

### 5.1.2.2 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  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs ao passo que em -AV, maiores valores de  $\phi D0$ , ABS/RC, TR0/RC, ET0/RC e DI0/RC foram descritos. Na espécie *P. cattleianum*, os valores de  $\phi P0$ ,  $\phi E0$ , TR0/RC, ET0/RC e PI/abs, na +AV, e  $\phi D0$ , ABS/RC e DI0/RC foram maiores em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença significativamente entre +AV e -AV, com maiores valores de  $\phi E0$ , ABS/RC, TR0/RC, ET0/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  $\phi E0$  e PI/abs em +AV e maiores valores de  $\phi D0$ , ABS/RC, TR0/RC e DI0/RC em -AV (Tabela 3). Na espécie *P. cattleianum*, observam-se maiores valores de  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs em +AV e maiores valores de  $\phi D0$ , ABS/RC, TR0/RC, ET0/RC e DI0/RC em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para o parâmetro  $\phi D0$  na presença do adubo verde e ABS/RC, TR0/RC, ET0/RC e DI0/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 TR0/RC em -AV (Figura 3). Para *P. cattleianum*, maiores  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs foram observados em +AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para o parâmetro  $\phi P0$  na presença do adubo verde e  $\phi D0$  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

### 5.1.2.3 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), Hidrossemeadura (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>											
$\phi P0$	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
$\phi E0$	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
$\phi D0$	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
TR0/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
ET0/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
DI0/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)

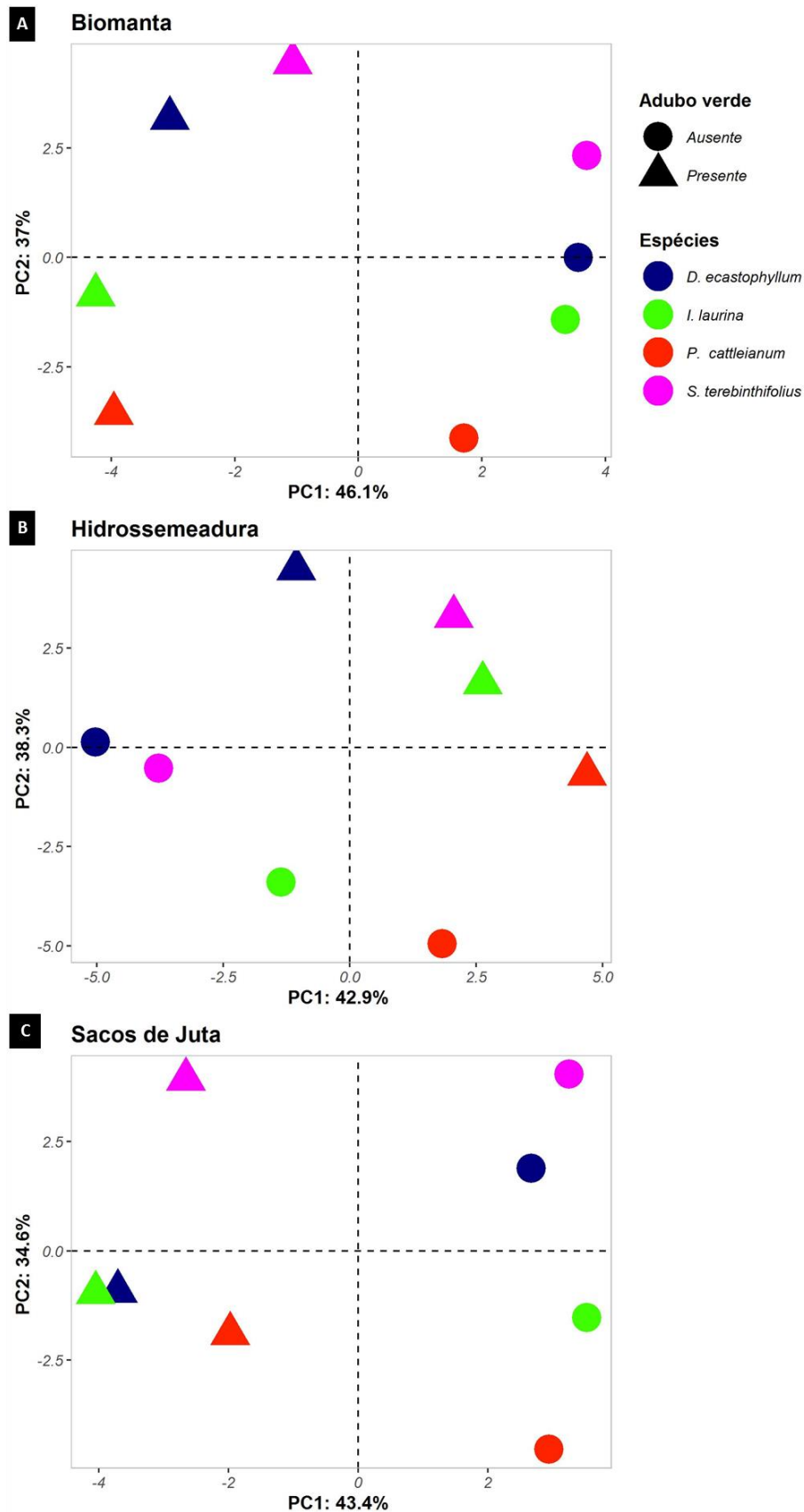
## **5.2 Avaliação da eficiência dos tratamentos após 12 meses da implantação do experimento**

### *5.2.1 Análise Multivariada*

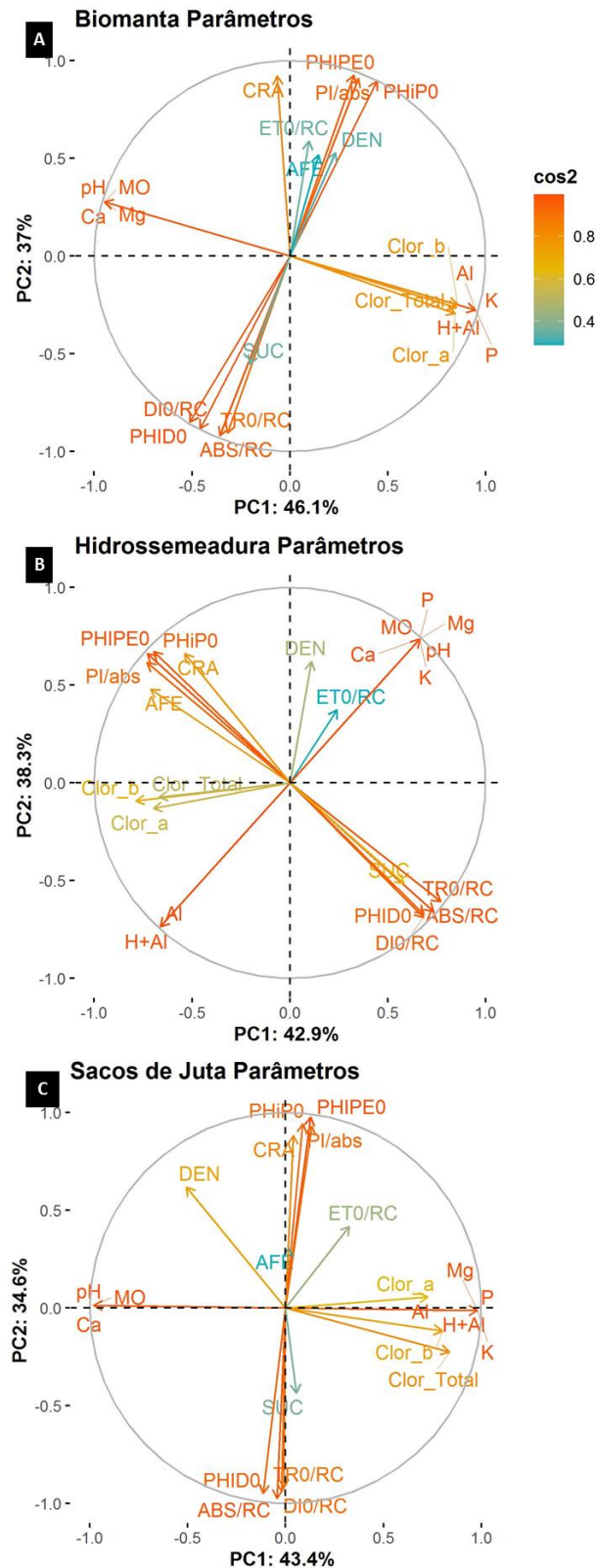
A figura 3 apresenta os dados da PCA obtidos para os tratamentos biomanta (Figura 3A) hidrossemeadura (Figura 3B) e sacos de juta (Figura 3C) após 12 meses do início do experimento. Os resultados mostraram a dispersão das quatro espécies avaliadas de acordo com a presença ou ausência do adubo verde. 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 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).



**Figura 4:** Gráfico de geração da análise de componentes principais considerando todos os parâmetros ecofisiológicos, as variáveis fotoquímicas (ABS/RC, DI0/RC, ET0/RC, ET/RC, PI/abs,  $\phi P_o$ ,  $\phi E_o$ ,  $\phi D_o$ ), 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  $\phi D0$ , ABS/RC, DI0/RC, TR0/RC e SUC ao passo que *S. terebinthifolia* e *D. ecastophyllum* são relacionadas a  $\phi E0$  e  $\phi P0$ , 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.

## 5.2.2 Teste Tukey

### 5.2.2.1 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 4). 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.

### 5.2.2.2 Fluorescência transiente da clorofila *a*

A espécie *S. terebinthifolia* só diferiu para os parâmetros ET0/RC e DI0/RC no tratamento com hidrossemeadura, com maiores valores obtidos para +AV (Tabela 5). Em *P. cattleianum* essa diferença é observada apenas no tratamento com sacos de juta para os parâmetros  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs em +AV e  $\phi D0$ , ABS/RC, TR0/RC e DI0/RC em -AV. *Inga laurina* apresentou diferença estatística significativa para os tratamentos biomanta e sacos de juta. Em BIO, maiores valores  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs ocorreram em -AV e maior  $\phi D0$  e DI0/RC em -AV. Para JUT, apenas ET0/RC apresentou diferença significativa com valores mais altos na -AV. Em *D. ecastophyllum*, o tratamento com sacos de juta apresentou maiores valores de  $\phi P0$ ,  $\phi E0$  e PI/abs na -AV. Os parâmetros  $\phi D0$ , ABS/RC, TR0/RC e DI0/RC foram mais elevados na +AV.



**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 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 5:** 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).

		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>		
$\phi P0$	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
$\phi E0$	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
$\phi D0$	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
TR0/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
ET0/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
DIO/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 6:** 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)

### 5.2.2.3 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 6). 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 6).

## 6. DISCUSSÃO

As características apresentadas na tabela 8 mostram que as 4 espécies se individualizam e se agrupam devido às características pioneiras (P), não pioneiras (NP), fixadoras de nitrogênio (FN) e não fixadoras de nitrogênio (NFN). Esses grupos são evidenciados no efeito que o adubo verde tem sobre eles e também no grau de influência sobre cada espécie, criando uma divisão e uma subdivisão de influência que será abordada no decorrer da discussão.

A divisão principal observada nos resultados está relacionada à fixação biológica de nitrogênio, pois este fator é quem dita se o adubo verde tem ou não influência sobre aquele determinado grupo de espécies, em que as FN têm comportamento distinto das NFN. 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 do metabolismo das plantas, sendo um dos fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento (HIREL; KRAPP, 2021; LEBAUER; TRESEDER, 2008). Além disso, a utilização de leguminosas como adubos verdes ou em consórcios contribui para minimizar o uso de fertilizantes nitrogenados e melhorar a eficiência do uso desse elemento (LIU et al., 2020; ZHAO et al., 2022).

A segunda divisão trata-se de um subagrupamento formado por plantas pioneiras (P), *D. ecastophyllum* e *S. terebinthifolius* e não pioneiras (NP), *I. laurina* e *P. cattleianum*. As pioneiras possuem vantagens em relação ao seu desenvolvimento inicial, e ao se estabelecerem no local fornecem suporte para o desenvolvimento de outras espécies (PIOTTO et al., 2020). Elas são espécies capazes de suportar alta irradiâncias, baixa disponibilidade de nutrientes e água sem prejudicar o sistema fotossintético e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento. Por isso, em áreas de revegetação, elas são essenciais para a recuperação inicial do solo, fornecendo nutrientes, sombreamento para espécies NP, criando um microclima mais ameno e 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 dos agrupamentos e da individualização formados em cada um dos resultados apresentados. 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.

Todas as características citadas e a forma como são distribuídas, tornam cada uma das espécies utilizadas nesse experimento únicas. Todas possuem particularidades que são refletidas quando avaliamos de forma diferente o experimento. Quando observamos a PCA é possível notar uma maior proximidade entre os grupos de plantas pioneiras (*D. ecastophyllum* e *S. terebinthifolius*) e não pioneiras (*I. laurina* e *P. cattleianum*) prevalecendo ao formar os agrupamentos, entretanto, quando avaliamos o teste de médias observamos nos resultados significativos e no comportamento relacionado à presença ou ausência do adubo verde as semelhanças entre fixadoras de nitrogênio (*D. ecastophyllum* e *I. laurina*) e não fixadoras de nitrogênio (*S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*).

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

A partir das PCAs obtidas em ambas as coletas para a dispersão dos parâmetros é possível observar a formação de 2 eixos distintos que se repetem. O primeiro eixo que diferencia a presença e ausência do adubo está relacionado à fertilidade do solo, que é o ponto mais forte da PCA, confirmando que a sua utilização tem influência sobre esses parâmetros. A relação como esses parâmetros se agrupam é variável, e modifica-se de acordo com o

tratamento de plantio aplicado e coleta, porém nota-se que o agrupamento de atributos como MO, P, Ca e pH mais próximos do ideal estando sempre relacionados à presença da adubação.

O segundo eixo distribui as espécies arbóreas de acordo com sua relação individual com os parâmetros, principalmente os relacionados ao teste JIP. A relação que cada uma das plantas tem com esses parâmetros acaba formando agrupamentos entre elas indicando que aquele grupo possui uma forte correlação entre si. Quando comparados aos resultados do teste de médias observa-se a semelhança dos resultados entre fixadoras de nitrogênio e não fixadoras de nitrogênio.

Avaliando os resultados é possível notar que a utilização da adubação verde influencia FN e NFN de forma diferente e dentro desses níveis. Pioneiras e não pioneiras sofrem interferência em intensidades diferentes, ou seja, em relação ao grupo funcional FN é possível perceber que o adubo verde tem uma maior influência sobre *I. laurina* (não pioneira) do que sobre *D. ecastophyllum* (pioneira), ocorrendo o mesmo no grupo NFN em que *S. terebinthifolius* (pioneira) sofre uma menor influência que *P. cattleianum* (não pioneira).

*Schinus terebinthifolius* e *P. cattleianum*, ambas não fixadoras de nitrogênio, apresentaram, de forma geral, aos seis meses, o mesmo resultado individual no teste de Tukey, alcançando um desempenho superior na presença do adubo verde, o que é indicado pela relação entre fluxos específicos de energia e rendimentos avaliados no teste JIP. Essas espécies, nas parcelas com a presença do adubo verde, exibiram um aumento significativo dos parâmetros de  $\phi P0$  e  $\phi E0$ , que apresentaram médias mais altas, e uma diminuição do  $\phi D0$ . Nas parcelas sem o adubo o comportamento foi contrário, indicando que ocorreu uma menor eficiência fotossintética, um menor rendimento no transporte de elétrons e uma maior dissipação de calor ao longo do processo. Dentre os resultados apresentados é necessário destacar a diferença obtida entre os valores de índice de desempenho do FSII (PIABS) em que o resultado apresentado para ambas as espécies, nas parcelas com o adubo verde, chega a ser o dobro quando comparadas à ausência.

O PIabs é um sensível indicador de fotoinibição nas plantas, isso porque ele relaciona a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação pelo fotossistema II, 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 PIabs aliado a diminuição de  $\phi P0$  e  $\phi E0$  e o aumento de  $\phi D0$  na -AV, refletem um certo grau de estresse sofrido pelas plantas, indicando que nas espécies submetidas ao adubo verde a estrutura do PSII está mais estável e desempenhando melhor as atividades fotoquímicas (MA et al., 2021).

Nas espécies FN observa-se um efeito contrário em comparação às NFN, pois o adubo verde reduz o desempenho das espécies em alguns casos ou não tem influência sobre ele. Isso foi observado para *D. ecastophyllum* aos seis meses, em que não apresentou resultado relevante em relação ao teste para nenhum dos tratamentos de plantio, indicando que a utilização do adubo verde não teve influência sob o seu desenvolvimento. Isso pode estar relacionado a sua facilidade adaptativa, visto que além de ser uma espécie pioneira, suportando mais os efeitos abióticos, ela possui a vantagem de fixar o nitrogênio, gerando um acúmulo e reservar a ser utilizado no crescimento e desenvolvimento vegetal (WANG, Ting et al., 2022).

Aos 12 meses o comportamento geral das espécies continua semelhante, todavia, com uma menor intensidade, influenciado menos na diferenciação entre os tratamentos. É notável que *D. ecastophyllum*, que não sofreu influência aos seis meses, passa a apresentar um resultado significativo para o tratamento com sacos de juta, em que na ausência do adubo verde a espécie consegue ter um rendimento levemente maior. *Inga laurina* tem o mesmo comportamento durante ambas as coletas mostrando que não é beneficiada pelo cultivo do adubo verde, tendo um resultado muito variável em relação à significância aos seis meses. Contudo, aos 12 meses, o tratamento com biomanta é o único a apresentar diferenças relevantes indicando que ocorreu uma menor eficiência fotossintética, um menor rendimento no transporte de elétrons e uma maior dissipação de calor ao longo do processo nas parcelas que receberam o adubo verde.

Em relação aos atributos foliares avaliados houve um aumento na suculência (Suc) para as espécies *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum* e *I. laurina* na +AV (para os casos significativos) e uma diminuição para *D. ecastophyllum* aos seis meses. Suc foi o parâmetro que mais apresentou variação aos 6 meses e o que menos variou aos 12 meses. A suculência está ligada à capacidade de armazenamento de água principalmente quando as plantas se encontram em um ambiente com baixa disponibilidade hídrica ou em épocas de pouca precipitação (ROSADO; MATTOS, 2007). Esse comportamento é observado nos resultados apresentados visto que o inverno, que é a estação seca da região, ocorreu aos seis meses, por isso a necessidade de armazenar água e a variação na suculência das folhas mais expressiva aos 6 meses do que aos 12 meses.

Aos seis meses a densidade (Den) foi maior na +AV para FN e na -AV para NFN, porém, aos 12 meses, apenas as espécies NP apresentam diferença significativa: *P. cattleianum* no tratamento de hidrossemeadura e *I. laurina* para todos os três tipos de plantio. Em ambas a maior densidade foi encontrada na parcela +AV. Segundo Witkowski & Lamont (WITKOWSKI; LAMONT, 1991) a variação da densidade e também da área foliar podem ocorrer em resposta à disponibilidade de nutrientes, umidade ou luz, em que solos pobres e



secos apresentam folhas maiores e mais densas do que aquelas em solos mais úmidos e férteis. Essa afirmação também corrobora os resultados obtidos para área foliar específica (AFE) que apresentou o mesmo comportamento para *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum* e *I. laurina*, tendo maior AFE na -AV para ambas as coletas em todos os casos significativos. *Dalbergia ecastophyllum* não variou em nenhum tratamento e tempo de coleta. Isso indica que as parcelas -AV possuíam um teor de nutrientes mais baixo que as que receberam +AV. Como a luz não é um fator limitante, visto que todas estão a pleno sol, considera-se que os resultados devem ser atribuídos à sazonalidade das chuvas, devido aos períodos de coletas e aos nutrientes presentes no solo.

O Conteúdo Relativo de Água (CRA) foi o parâmetro que menos variou. *Schinus terebinthifolia*, *D. ecastophyllum* e *I. laurina* apresentaram, para ambas as épocas, um maior CRA na +AV para os casos significativos em ambas as coletas. *Psidium cattleianum* não apresentou nenhuma diferença aos seis, contudo, aos 12 meses, exibiu um maior CRA na -AV para o tratamento de biomanta.

Os índices de clorofilas apresentados nas tabelas 3 e 6 mostram que existe uma variação na PCA, entre os eixos, influenciada pelo tipo de tratamento de plantio aplicado, e no teste de médias, de acordo com a +AV e -AV. Ao se trabalhar a fertilidade do solo e utilização desses nutrientes pelas plantas a clorofila é naturalmente relacionada à concentração de nitrogênio (ZHANG et al., 2021), por se tratar de um nutriente chave no processo de fotossíntese (QIN et al., 2021). Os resultados obtidos mostram que as espécies FN foram as mais influenciadas de forma significativa pelo adubo verde apresentando um maior índice de clorofila na sua ausência, sendo um padrão em todos os resultados apresentados. Esse efeito pode estar relacionado à facilidade de *D. ecastophyllum* e *I. laurina* em obter nitrogênio e a competição gerada pelo desenvolvimento das outras espécies a partir do adubo verde, apesar da disponibilidade de nutrientes ser maior com +AV.

As espécies NFN foram beneficiadas pelo AV, devido à maior disponibilidade de nutrientes fornecidos pela decomposição da matéria orgânica e a cobertura formada que fornece um efeito protetor para o solo. No entanto, as espécies FN não tiveram o mesmo efeito. Apesar das parcelas com o adubo verde contarem com uma maior disponibilidade nutricional as espécies fixadoras de nitrogênio não foram beneficiadas pela sua utilização.

Segundo Huangfu *et al.* (HUANGFU; ZHANG; HUI, 2022)<sub>2</sub>, em alguns casos, a competição entre espécies, associados a resultados negativos da relação planta-solo, pode reduzir o seu desempenho e a habilidade competitiva, em que a biota do solo funciona como um potencializador dos mecanismos utilizados pelas plantas, o que pode suprimir ou beneficiar

o competidor dominante em relação às outras espécies subdominantes. Além das quatro espécies avaliadas, o mix de adubos verdes é formado por uma espécie forrageira, uma crucífera e seis leguminosas, que vão requerer nutrientes que estejam disponíveis no solo, o que gera uma competição por nutrientes, podendo suprimir as espécies dominantes. No ambiente sem o adubo verde não ocorre uma competição no mesmo nível, e apesar de possuir uma menor disponibilidade, ocorre também um menor requerimento de nutriente e um favorecimento das espécies dominantes.

As espécies FN têm uma vantagem para obter nitrogênio em comparação às outras, o que favorece o seu desenvolvimento nos dois ambientes, porém, quando o fator competição é levado em consideração há uma diferença na obtenção e disponibilidade dos nutrientes no solo. Pelos resultados apresentados no teste Jip *D. ecastophyllum* tem o mesmo desempenho em ambas as parcelas, e *I. laurina*, em alguns casos, apresenta um melhor desempenho -AV, sendo um comportamento normal para espécies dominantes. Contudo, o índice de clorofila é expressivo, o que indica, baseado nas leituras citadas anteriormente, uma maior vantagem dessas espécies em obter nitrogênio nas parcelas -AV para ambas as espécies, visto que todas elas estão a pleno sol.

As espécies utilizadas na composição do adubo verde são pouco exigentes nutricionalmente, quando comparadas às quatro espécies nativas utilizadas e, por isso, estabelecem-se mais facilmente em solos pobres. A decomposição da MO fornecida por essas espécies e incorporada ao solo leva a um aumento na atividade microbiana e consequentemente 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.

## 7. CONCLUSÕES

Cada uma das quatro espécies utilizadas neste experimento possui características que as tornam únicas em relação a utilização de recursos e tolerância ao ambiente, utilizando diferentes estratégias e mecanismos para se adaptar e desenvolver.

O comportamento das espécies é diferenciado na presença ou ausência do adubo verde. O grupo funcional de plantas NFN obteve maior vantagem na +AV, com maior desenvolvimento e melhor desempenho das atividades fotoquímicas.

O grupo funcional formado pelas espécies FN obteve maior status nutricional na -AV, contudo, a +AV não afetou negativamente o seu desempenho fotoquímico. A competição por nutrientes é a provável causa para tais resultados.

Os três tratamentos de semeadura, biomanta, hidrossemeadura e sacos de juta, mostraram-se eficazes no seu estabelecimento do adubo verde no solo. 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.

## 7. REFERÊNCIAS

BALLESTEROS, Miguel et al. Restoration of Gypsicolous Vegetation on Quarry Slopes: Guidance for Hydroseeding under Contrasting Inclination and Aspect. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 7, p. 2146–2154, out. 2017.

BOLDT-BURISCH, Katja et al. 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.

GARCÍA-PALACIOS, Pablo et al. Dominant Plant Species Modulate Responses to Hydroseeding, Irrigation and Fertilization during the Restoration of Semiarid Motorway Slopes. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 10, p. 1290–1298, 1 out. 2010.

GUDYNIENE, Vilma et al. Sowing Mixtures of Native Plant Species: Are There Any Differences between Hydroseeding and Regular Seeding? **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2507, nov. 2021.

HÉRY, Marina et al. Nickel mine spoils revegetation attempts: effect of pioneer plants on two functional bacterial communities involved in the N-cycle. **Environmental Microbiology**, v. 7, n. 4, p. 486–498, abr. 2005.

LIMA, Khadidja Dantas de et al. Regeneração natural após 13 anos de plantio com espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio em Valença, no estado do Rio de Janeiro. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 830–845, 1 jun. 2021.

MATSUMOTO, L. S. et al. Interactions among Functional Groups in the Cycling of, Carbon, Nitrogen and Phosphorus in the Rhizosphere of Three Successional Species of Tropical Woody Trees. **Applied Soil Ecology**, v. 28, n. 1, p. 57–65, 1 jan. 2005.

GARCÍA-PALACIOS, Pablo et al. Dominant plant species modulate responses to hydroseeding, irrigation and fertilization during the restoration of semiarid motorway slopes. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 10, p. 1290-1298, 2010.

LEITE DE LIMA, A. P.; DAMATO, J.; DE SOUZA, C. M. 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.

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., M. Tsimilli-Michael, and A. Srivastava. 2004. **Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient**.

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

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.

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. 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.

BUGBEE, B.G., (1996). Growth, analysis and yield components. In: Salisbury, F.B. (Ed.), Units, Symbols and Terminology for plant Physiology. **Oxford University Press**, Oxford, pp. 115–119.

BUSSOTTI, Filippo et al. 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.

CANOSA, G. A.; DE FARIA, S. M.; DE MORAES, L. F. D. Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico. Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2012.

CHAZDON, R.L *et al.* (2010) Composition and Dynamics of Functional Groups of Trees During Tropical Forest Succession in Northeastern Costa Rica. **Biotropica**, 42, 31–40.

CHEN, Shiqi et al. Impact of Slope Position on Soil Erodibility Indicators in Rolling Hill Regions of Northeast China. **CATENA**, v. 217, p. 106475, 1 out. 2022.

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

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

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

EVANS, J.R.; POORTER, H. 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, 2001.

FALKER, Automação agrícola (2008). **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre. 33p. Disponível em: <[http://www.falker.com.br/produto\\_download.php?id=4](http://www.falker.com.br/produto_download.php?id=4)>.

FERREIRA NETO, Reginaldo 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.

FERREIRA, E.M *et al* (2018). Área de preservação permanente em processo de revegetação com espécies arbóreas e adubos verdes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 243-252.

GOBINATH, R. et al. 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, José Francisco de Carvalho et al. 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, mar. 2010.

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.

GUO, Mei-Na et al. 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, 1 jul. 2022.

HIREL, Bertrand; KRAPP, Anne. 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, Francisco Sandro Rodrigues et al. 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, 1 jan. 2009.

HUANGFU, Chaohe; ZHANG, Liming; HUI, Dafeng. 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.

Hunt, R., (1990). Basic Plant Growth Analysis. **Unwin, Hyman**, London.

IQBAL, Nasir et al. 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.

JAKOVAC, A.C.C *et al* (2007). **O uso do banco de sementes florestal contido no topsoil como estratégia de recuperação de áreas degradadas.**

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

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

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

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

MA, Yingli *et al.* Alleviatory Effect of Rare Earth Micro-Fertilizer on Photosystem II (PSII) Photoinhibition in Pseudostellaria Heterophylla Leaves at Photosynthetic Midday Depression. **Journal of Rare Earths**, 27 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002072121002003>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

MACHADO, Carlos José Saldanha *et al.* Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 28, n. 0, 27 dez. 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/30168>>.

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, Marcel *et al.* 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, 8 set. 2022.

NOVARA, A. *et al.* Soil Erosion Assessment on Tillage and Alternative Soil Managements in a Sicilian Vineyard. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 140–147, 1 dez. 2011.

OLIVEIRA, Wanderson *et al.* FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA COMO INDICADOR DE ESTRESSE SALINO EM FEIJÃO CAUPI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2592–2603, 6 ago. 2018.

PETERSEN, S.L. *et al* (2004). Revegetation methods for high-elevation roadsides at Bryce Canyon National Park, Utah. **Restoration Ecology**, 12 (2): 248-257.

PIOTTO, Daniel *et al.* 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, 15 out. 2020.

QIN, Jian *et al.* Responses of Nitrogen Metabolism, Photosynthetic parameter and Growth to Nitrogen Fertilization in *Cyclocarya paliurus*. **Forest Ecology and Management**, v. 502, p. 119715, 15 dez. 2021.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, **Vienna, Austria**. <https://www.Rproject.org/>.

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.

ROSADO, Bruno Henrique Pimentel; MATTOS, Eduardo Arcoverde de. 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, set. 2007.

SILVA, Cristiane Figueira da et al. 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, 1 jul. 2015.

SILVA, J. C. G *et al* (2018). Estudo comparativo entre técnicas de proteção superficial de taludes situados na rodovia sp-563: biomanta, hidrossemeadura e grama em placa. **SINGEP – São Paulo – SP – Brasil**.

SOLEYMANI, A. *et al.* (2012). Influência de adubos verdes e do manejo de resíduos culturais na produtividade e nos componentes da produção da silagem de milho. **Research on Crops** , v. 13, n. 3, pág. 871-876.

STRASSER, B. J., & STRASSER, R. J. (1995). Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP test, P. Mathis (Ed.), *Photosynthesis: From Light to Biosphere*, Vol. V. In *Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress*. Montpellier, France, Kluwer **Academic Publishers**, Dordrecht.

WANG, Li et al. A Review on in Situ Phytoremediation of Mine Tailings. **Chemosphere**, v. 184, p. 594–600, 1 out. 2017.

WANG, Ting et al. 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, 1 mar. 2022.

WITKOWSKI, E. T. F., & LAMONT, B. B. (1991). Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, 88(4), 486-493.

YUSUF, Mohd. 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, 1 ago. 2010.

ZHANG, Ke et al. A New Canopy Chlorophyll Index-Based Paddy Rice Critical Nitrogen Dilution Curve in Eastern China. **Field Crops Research**, v. 266, p. 108139, 1 jun. 2021.

ZHAO, Yan et al. Nitrogen Fixation and Transfer between Legumes and Cereals under Various Cropping Regimes. **Rhizosphere**, v. 22, p. 100546, 1 jun. 2022.

