

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**

Ana Luiza Rangel Linhares Lima

Variação intraespecífica de atributos funcionais em espécies arbóreas da
Floresta Atlântica

Juiz de Fora

2026

Ana Luiza Rangel Linhares Lima

Variação intraespecífica de atributos funcionais em espécies arbóreas da
Floresta Atlântica

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Biodiversidade e Conservação da
Natureza da Universidade Federal de
Juiz de Fora como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Biodiversidade e Conservação da
Natureza.

Orientador: Dr. Pedro Manuel Villa

Coorientador: Dr. Cristiano Ferrara

Juiz de Fora

2026

Ana Luiza Rangel Linhares Lima

Variação intraespecífica de atributos funcionais em espécies arbóreas da
Floresta Atlântica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em
Biodiversidade e Conservação da Natureza da Universidade Federal de Juiz
de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em
Biodiversidade e Conservação da Natureza.

Aprovada em 03 de fevereiro de 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br PEDRO MANUEL VILLA
Data: 03/02/2026 16:16:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pedro Manuel Villa - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Cristiano Ferrara de Resende- Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Alex Josélío Pires Coelho
Universidade Federal de Viçosa

Alice Cristina Rodrigues
Universidade Federal de Viçosa

Dedico este trabalho aos meus pais,
que foram mais do que amigos e parceiros.
Dedico também a todos os colegas
ambientalistas e conservadores da
natureza, que dedicam uma parte do seu
tempo em preservar a natureza em meio
ao caos humano.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos não abordam em sua totalidade e conseguiram expressar o sentimento de gratidão que eu tenho por finalizar essa etapa e a quantidade de pessoas que passaram pela minha vida ao longo destes 2 anos, ajudando de uma forma direta ou indireta, e não digo necessariamente a algo relacionado a dissertação em si.

Passei por coisas durante o mestrado que ninguém conta, pois não há como colocar em palavras. Tive momentos de ruptura e querer jogar tudo para o ar, momentos em que terminar isso e conseguir o título iria ruir com o meu emocional e me lembrar de cicatrizes deixadas por palavras e atividades mal-intencionadas. Mas também passei pela tempestade comum que é o meio acadêmico, os trabalhos de campo, os testes estatísticos que não só testam seus dados, como também, a sua paciência. Os testes pessoais de querer entregar algo melhor, de qualidade, mas não saber qual o seu limiar pessoal; a cobrança do meio acadêmico de estar tudo sempre perfeito e bem publicado.

Mas o mestrado também me trouxe momentos bons, de troca, de conhecimento, de amizades novas, de conversas boas e aprendizados incríveis. Agradeço a todo o apoio material e psicológico que meus amigos da universidade e fora dela me deram, e continuam me dando. Aos professores, que alguns deles, viraram amigos, por toda paciência e troca de saberes. Por confiarem no meu trabalho, quando nem eu mesma confiei. Não preciso citar nomes de ninguém, porque cada um sabe como participou da minha vida durante estes anos e como foi essencial esse apoio.

Impreverivelmente, a minha família é grande protagonista nisto, pois sem eles, não tem como chegar até ao final, e se tivesse perderia o sentido. A minha mãe e meu pai, não tenho palavras para expressar o amor e a gratidão que eu tenho só de olhar para vocês. Ao meu companheiro de vida, e amigo, Rodrigo, que dá uma felicidade na minha vida só por existir no mundo. Aos meus irmãos, por todo carinho. Eu amo vocês imensamente.

Por fim, agradeço aos meus orientadores, por terem aceitado me orientar e ajudar nesse processo, mesmo que não desde o início, e ainda sim, foram excelentes, pacientes e completamente humanos, entendendo desde o início meus momentos

delicados ou conturbados, mas ainda mantendo uma excelência profissional impecável, que resultou neste trabalho final.

“Talvez todas as tormentas da nossa vida sejam apenas as árvores e as folhas tremendo quando pressentem o céu” (Rilke, R. M. 1929).

RESUMO

Compreender como a diversidade de plantio modula a expressão de traços funcionais das plantas é central para o aprimoramento da restauração de florestas tropicais. Avaliamos como a riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies) influencia a expressão, a variabilidade e a coordenação de traços funcionais em duas espécies arbóreas pioneiras, *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum*, em plantios de restauração da Mata Atlântica com quatro anos de idade. Foram mensurados traços morfológicos e fisiológicos foliares, além da altura das plantas, em 454 indivíduos. As análises combinaram testes não paramétricos de variação intraespecífica com modelos lineares mistos generalizados e modelos de relação entre traços. A identidade das espécies foi o principal fator determinante da expressão dos traços, enquanto a riqueza de espécies promoveu alterações específicas nos valores médios dos traços: SLA, área foliar e massa fresca aumentaram com a riqueza, enquanto LDMC e Fv/Fm apresentaram declínio, e a massa seca exibiu uma resposta não linear ao gradiente de riqueza. A variabilidade intraespecífica dos traços não apresentou mudanças consistentes entre os níveis de riqueza, e os padrões centrais de coordenação dos traços foram conservados, incluindo a relação negativa entre SLA e LDMC e as relações positivas de escala entre área foliar, massa seca e altura. A eficiência fotoquímica esteve negativamente associada a traços aquisitivos, indicando custos fisiológicos de curto prazo relacionados à expressão desse conjunto de traços. De modo geral, a riqueza de espécies modulou os valores médios dos traços sem aumentar a variância intraespecífica ou reorganizar a arquitetura funcional, evidenciando uma montagem comunitária dominada pela identidade das espécies nas fases iniciais da restauração e fornecendo subsídios para a seleção de misturas de espécies baseadas em traços que conciliem rápido desenvolvimento do dossel e estabilidade fisiológica.

Palavras-chave: Variação intraespecífica de traços; Mata Atlântica; *Pleroma granulosum*; *Croton urucurana*; traços funcionais.

ABSTRACT

Understanding how planting diversity modulates plant functional trait expression is central to improving tropical forest restoration. We assessed how species richness (1, 3, and 6 species) influences the expression, variability, and coordination of functional traits in two pioneer trees, *Croton urucurana* and *Pleroma granulosum*, in 4-year-old Atlantic Forest restoration plantings. We measured leaf morphological and physiological traits and plant height in 454 individuals. Analyses combined non-parametric tests of intraspecific variation with generalized linear mixed models and trait–trait models. Species identity was the main driver of trait expression, whereas species richness produced trait–specific shifts in mean values: SLA, LA, and fresh weight increased with richness, while LDMC and Fv/Fm declined, and dry mass exhibited a non-linear response to richness. Intraspecific trait variability did not change consistently across richness levels, and core patterns of trait coordination were conserved, including the negative SLA–LDMC trade-off and positive scaling relationships between leaf area, dry mass, and height. Photochemical efficiency was negatively associated with acquisitive traits, indicating short-term physiological costs associated with acquisitive trait expression. Overall, species richness modulated mean trait expression without increasing within-species variance or reorganizing trait architecture, highlighting identity-dominated assembly during early restoration and informing trait-based species mixtures that combine rapid canopy development with physiological stability.

Keywords: Intraspecific trait variation; Atlantic Forest; *Pleroma granulosum*; *Croton urucurana*; functional traits

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa da área de estudo.....16
- Figura 2- Análise de componentes principais (PCA) de sete traços funcionais mensurados em duas espécies arbóreas pioneiras sob restauração ativa da Mata Atlântica. Os vetores dos traços representam as cargas associadas à área foliar específica (SLA), área foliar (LA), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), peso fresco foliar (fresh_weight), peso seco foliar (dry_mass), altura da planta (height) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm). Cada ponto representa um indivíduo arbóreo posicionado de acordo com seu perfil multivariado de traços. As elipses representam intervalos de confiança de 75% ao redor dos centróides das espécies, ilustrando separação consistente no espaço funcional. As identificações individuais (B1, B2, B3) correspondem aos blocos experimentais.....22
- Figura 3- Valores médios dos traços funcionais (\pm EP) de *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum* ao longo dos níveis de riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies), apresentando: a. área foliar específica (SLA, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$); b. área foliar (LA, cm^2); c. peso fresco foliar (g); d. altura da planta (m); e. conteúdo de matéria seca foliar (LDMC, mg g^{-1}); f. peso seco foliar (g); e g. rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm). As barras de erro indicam ± 1 erro padrão.26
- Figura 4- Relações bivariadas entre traços funcionais e variáveis relacionadas ao desempenho para *Croton urucurana* (círculos rosa, linhas contínuas) e *Pleroma granulosum* (triângulos azuis, linhas tracejadas) ao longo dos níveis de riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies). Os painéis apresentam as relações entre: a. área foliar específica (SLA, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm); b. SLA e altura da planta (m); c. conteúdo de matéria seca foliar (LDMC, mg g^{-1}) e altura da planta; d. LDMC e Fv/Fm; e. LDMC e área foliar (LA, cm^2); f. peso seco foliar (Dry mass, g) e LA; g. LA e Fv/Fm; h. peso seco foliar (Dry mass) e Fv/Fm; i. peso seco foliar e altura da planta; e j. SLA e LDMC. Os pontos representam indivíduos dentro de cada nível de riqueza. As linhas indicam os ajustes dos modelos traço-traço para cada espécie, com áreas sombreadas representando intervalos de confiança de 95%. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de riqueza em relação à riqueza 1 (contrastados baseados em modelo, $p < 0,05$).27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Traços funcionais medidos em duas espécies arbóreas pioneiras nativas (<i>Croton urucurana</i> e <i>Pleroma granulosum</i>), incluindo as unidades de medida e seus respectivos eixos funcionais associados. Os eixos funcionais seguem referenciais padronizados baseados em traços funcionais (WRIGHT et al., 2004; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).....	19
Tabela 2- Resultados dos testes de Wilcoxon para amostras independentes comparando o coeficiente de variação (CV) dos traços funcionais entre <i>Croton urucurana</i> e <i>Pleroma granulosum</i> . Para cada traço, são apresentados: a estatística do teste de Wilcoxon (W), os valores de p brutos (p), os valores de p ajustados pelo método de Holm (p_holm) e os tamanhos de efeito (r). Os valores médios de CV são apresentados para <i>C. urucurana</i> (med_C) e <i>P. granulosum</i> (med_P). Valores negativos de r indicam maior CV em <i>C. urucurana</i> , enquanto valores positivos indicam maior CV em <i>P. granulosum</i> . FW = peso fresco foliar; SLA = área foliar específica; LA = área foliar; LDMC = conteúdo de matéria seca foliar; Fv/Fm = rendimento quântico máximo do fotossistema II.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	15
2.1.1	Objetivos específicos	15
3	METODOLOGIA.....	15
3.1	LOCAL DE ESTUDO.....	15
3.2	SELEÇÃO DAS ESPÉCIES	17
3.3	DESENHO EXPERIMENTAL	17
3.4	TRAÇOS FUNCIONAIS	18
3.5	ANÁLISE DOS DADOS.....	19
4	RESULTADOS	21
5	DISCUSSÃO	29
6	CONCLUSÕES	34
7	REFERÊNCIAS	35
8	APÊNDICE A – Material suplementar	44

1 INTRODUÇÃO

A restauração de paisagens degradadas da Mata Atlântica permanece como um desafio central da ecologia tropical, especialmente neste bioma altamente fragmentado e rico em biodiversidade (MAGNAGO et al., 2014; ARRUDA et al., 2025). A restauração ativa por meio do uso de espécies arbóreas pioneiras é amplamente empregada para acelerar a recuperação da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas (CAMPANHARO et al., 2021; CROUZEILLES et al., 2021; VILLA et al., 2021). No entanto, os resultados da restauração são moldados não apenas por condições abióticas, como disponibilidade de luz, fertilidade do solo e suprimento hídrico, mas também por interações bióticas entre as espécies plantadas, que podem influenciar o crescimento, a sobrevivência e as estratégias de uso de recursos (STAPLES et al., 2019; LIU et al., 2022; HALLETT et al., 2023).

Abordagens baseadas em traços funcionais fornecem um arcabouço conceitual para compreender como as plantas respondem a gradientes ambientais (LAVOREL; GARNIER, 2002; DALERUM et al., 2010; HENN et al., 2019). Traços foliares, em particular, capturam compensações fundamentais entre aquisição e conservação de recursos, conforme formalizado pelo espectro econômico foliar (WRIGHT et al., 2004). Traços como a área foliar específica (SLA) e o conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) variam ao longo de gradientes de disponibilidade de luz, oferta de nutrientes do solo e estresse hídrico, refletindo mudanças nas estratégias de crescimento e no desempenho fisiológico das plantas (WRIGHT et al., 2004; HODGSON et al., 2011; VITÓRIA et al., 2019; FREITAS et al., 2024). De forma relevante, a variação de traços funcionais ocorre não apenas entre espécies, mas também dentro das espécies, e essa variação intraespecífica de traços (ITV) tem sido associada à montagem de comunidades, ao funcionamento dos ecossistemas e às trajetórias da restauração (ALBERT et al., 2011; ZELDIN et al., 2020).

Em sistemas degradados da Mata Atlântica, o filtro ambiental durante as fases iniciais da restauração frequentemente promove convergência funcional, uma vez que condições estressantes favorecem estratégias semelhantes entre as espécies plantadas (BROUWER et al., 2025). À medida que a restauração avança e a disponibilidade de recursos aumenta, as interações bióticas tendem a adquirir maior

importância, podendo influenciar a divergência funcional por meio da diferenciação funcional entre espécies (CIANCIARUSO et al., 2012; LOHBECK et al., 2015). Essas mudanças nos processos de montagem das comunidades podem afetar a variabilidade dos traços, a magnitude da ITV e a coordenação entre traços funcionais. No entanto, evidências empíricas ao longo de gradientes de restauração ainda são limitadas.

A coordenação de traços, entendida como a covariação entre traços funcionais, oferece uma perspectiva complementar sobre as estratégias das plantas. Sob limitação de recursos ou alta competição, traços morfológicos, fisiológicos e estruturais tendem a apresentar maior coordenação, refletindo estratégias conservativas, enquanto em condições ambientais mais favoráveis essa integração pode ser menor, permitindo combinações funcionais mais flexíveis (VITÓRIA et al., 2019; CARRIJO et al., 2021; DWYER; LAUGHLIN, 2017b; MARACAHIPES et al., 2018; CANDEIAS et al., 2020; FAGUNDES et al., 2022). No âmbito da teoria econômica das plantas, estratégias aquisitivas associam-se a altos valores de SLA e baixos de LDMC, ao passo que estratégias conservativas envolvem maior densidade tecidual e investimento estrutural (MAYNARD et al., 2022). Compreender como essa coordenação responde ao contexto biótico é essencial para prever o desempenho das plantas em cenários de restauração.

A manipulação da riqueza de espécies em plantios de restauração constitui uma abordagem experimental para avaliar como o contexto biótico modula a expressão e a coordenação intraespecífica de traços funcionais. O aumento da riqueza pode alterar as interações de vizinhança por complementaridade ou competição, deslocando as estratégias individuais ao longo do contínuo aquisitivo conservativo (YACHI; LOREAU, 2007). Apesar de expectativas teóricas bem estabelecidas, evidências experimentais sobre os efeitos da riqueza na ITV e na coordenação de traços ainda são escassas em florestas tropicais, sobretudo nas fases iniciais da restauração (SÁNCHEZ BERMEJO et al., 2024; LOUREIRO; SANSEVERO, 2025). A maioria dos estudos concentra-se em gradientes naturais ou comunidades maduras, havendo poucos trabalhos que avaliem simultaneamente os valores médios dos traços e sua variabilidade intraespecífica em povoamentos jovens

de restauração (ALBERT et al., 2011; WESTERBAND et al., 2021; FREITAS et al., 2024).

Neste estudo, investigamos como a riqueza de espécies influencia a expressão, a variabilidade intraespecífica e a coordenação de traços funcionais em duas espécies arbóreas pioneiras nativas, *Croton urucurana* Baill. e *Pleroma granulosum* (Desr.) D. Don, durante as fases iniciais da restauração da Mata Atlântica. Utilizando um experimento de campo com monocultivos, misturas de três espécies e misturas de seis espécies, abordamos as seguintes questões: (1) existe variação intraespecífica de traços funcionais ao longo de gradientes de riqueza de espécies em duas espécies arbóreas de plantios de restauração da Mata Atlântica?; (2) de que forma a riqueza de espécies influencia a variabilidade intraespecífica dos traços funcionais dentro dessas espécies?; (3) como a riqueza de espécies e a identidade das espécies influenciam a expressão dos traços funcionais?; e (4) como os traços funcionais se relacionam entre as espécies ao longo do gradiente de riqueza? Focamos em traços morfológicos e fisiológicos foliares e na altura das plantas como indicadores das estratégias de uso de recursos. Nossa hipótese é que a expressão dos traços funcionais em espécies arbóreas pioneiras seja modulada pela riqueza de espécies, refletindo mudanças nas estratégias de uso de recursos e nas relações entre traços. Esperamos respostas coordenadas e específicas entre as espécies para traços como SLA, LDMC e eficiência fotoquímica, indicando plasticidade fisiológica e ajustes no investimento estrutural ao longo do gradiente de riqueza. Embora ambas as espécies compartilhem estratégias aquisitivas típicas de pioneiras, propomos que a segregação no uso de recursos emerja a partir da variação intraespecífica na expressão dos traços modulada pela riqueza da comunidade. Especificamente, prevemos que espécies com perfis mais aquisitivos apresentem valores elevados de SLA e eficiência fotoquímica em resposta às interações bióticas, enquanto espécies com tendências mais conservativas mantenham associações entre traços mais estáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Investigar como a variação intraespecífica em traços funcionais-chave e nas estratégias de uso de recursos responde às mudanças na riqueza de espécies durante a restauração de ecossistemas da Mata Atlântica.

2.1.1 Objetivos específicos

- avaliar como o aumento da diversidade de espécies plantadas influencia a expressão, a variabilidade intraespecífica e a coordenação de traços funcionais em duas espécies pioneiras, *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum*
- compreender as mudanças nas estratégias de uso de recursos e na integração funcional sob diferentes gradientes de riqueza de espécies de arbóreas da Mata Atlântica em estágio inicial de restauração

3 METODOLOGIA

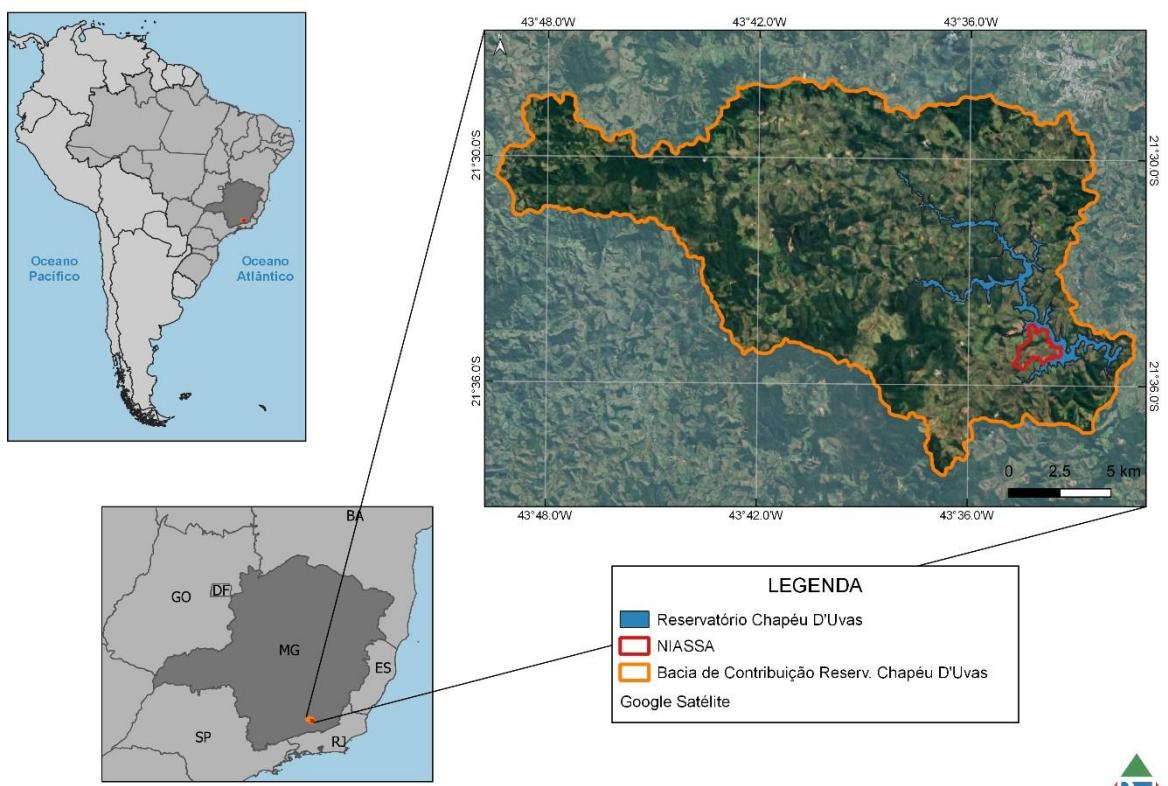
3.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Núcleo de Integração Acadêmica para a Sustentabilidade Socioambiental (NIASSA), localizada às margens do Reservatório de Chapéu D'úvas, no município de Ewbank da Câmara, Minas Gerais, Brasil ($21^{\circ}34'58,70''$ S; $43^{\circ}34'02,5''$ O; Figura 1). A área apresenta um histórico prolongado de uso agrícola intensivo e pastejo bovino, o que resultou em severa degradação do solo e perda da cobertura vegetal nativa. O local insere-se no bioma Mata Atlântica, um dos principais *hotspots* mundiais de biodiversidade (MYERS et al.,

2000). O clima regional é classificado como subtropical úmido, segundo a classificação de Cwa Köppen Geiger (PEEL et al., 2007), com temperaturas médias anuais variando entre 18 e 24 °C. Os verões são quentes e chuvosos, enquanto os invernos são mais amenos e secos. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.597 mm, com temperaturas médias mínima e máxima de 15,6 °C e 25,2 °C, respectivamente (INMET, 2024). A paisagem é caracterizada por relevo ondulado, típico da geomorfologia dos mares de morros, e os solos são predominantemente Argissolos Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018).

A fazenda experimental do NIASSA compreende aproximadamente 50 hectares de fragmentos de floresta primária e 200 hectares de pastagens dominadas por gramíneas exóticas, como *Brachiaria sp.*, dos quais 25 hectares encontram-se atualmente sob restauração ativa por meio do plantio de espécies arbóreas nativas. A caracterização física e química dos solos das parcelas experimentais indica solos argilosos e ácidos, com 48,5% de argila, 38,7% de areia e 12,7% de silte, classificados como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (FAUSTINO et al., em preparação).

Figura 1- Mapa da área de estudo.



Fonte: Projeto BEF Atlantic (2025).

3.2 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES

A seleção de *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum* como espécies focais baseou-se em sua relevância ecológica como espécies arbóreas pioneiras nativas, de rápido crescimento e amplamente utilizadas em projetos de restauração da Mata Atlântica (ALMEIDA; VIANI, 2022; FONSECA LIMA et al., 2016; FRAGOSO et al., 2016; GERBER et al., 2023). Ambas as espécies apresentam rápido estabelecimento, elevada plasticidade em resposta às condições de luminosidade e solo e tolerância a distúrbios, características que as tornam particularmente adequadas para ambientes degradados (ALMEIDA; VIANI, 2022; ALVARENGA et al., 2003; LOBREGAT et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Como espécies pioneiras, contribuem para os processos sucessionais iniciais ao promoverem o rápido desenvolvimento do dossel, a atenuação do microclima e o aporte de serapilheira, favorecendo, assim, o recrutamento de espécies de estágios sucessionais mais avançados (CONNELL; SLATYER, 1977; DENSLOW, 1980; GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001; HOLL; AIDE, 2011; CHAZDON, 2014; HOLL, 2017).

3.3 DESENHO EXPERIMENTAL

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Cada bloco foi composto por parcelas medindo 16,6 m × 18 m, que diferiram quanto à riqueza de espécies arbóreas. Cada parcela continha 48 mudas plantadas em espaçamento regular de 2,30 m, seguindo um delineamento de partição aleatória. Em cada bloco, foram amostradas uma parcela em monocultivo, duas parcelas com misturas de três espécies e duas parcelas com misturas de seis espécies. Nas parcelas em monocultivo e nas misturas de três espécies, foram amostrados 16 indivíduos por espécie, enquanto nas misturas de seis espécies foram amostrados oito indivíduos por espécie. Adicionalmente, todos os indivíduos de *Pleroma granulosum* e *Croton urucurana* presentes nas parcelas com três e seis espécies foram amostrados, exceto nas parcelas em monocultivo. Ao todo, foram

avaliados 454 indivíduos, incluindo 229 indivíduos (1.169 folhas) de *C. urucurana* e 225 indivíduos (1.130 folhas) de *P. granulosum*. Todos os blocos foram estabelecidos sob condições edáficas e climáticas comparáveis, resultando em uma área total amostrada de 7.192,8 m².

A preparação da área envolveu capina manual para exposição do solo mineral e facilitação do plantio. As mudas foram plantadas em 2021. O manejo pós-plantio consistiu em coroamento periódico ao redor de cada muda, com o objetivo de reduzir a competição com gramíneas invasoras, especialmente espécies do gênero *Brachiaria* sp.

3.4 TRAÇOS FUNCIONAIS

Seguindo protocolos padronizados de mensuração de traços funcionais (CORNELISSEN et al., 2003; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016), quantificamos sete traços funcionais relacionados à morfologia, fisiologia e desempenho das plantas (Tabela 1). A amostragem foliar foi realizada em dezembro de 2024, quando os plantios apresentavam quatro anos de idade. Para cada indivíduo, foram coletadas cinco folhas destinadas à avaliação de traços morfológicos.

A área foliar específica (SLA) foi calculada como a razão entre a área foliar (cm²) e a peso seco (g). O conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) foi determinado como a razão entre o peso seco em estufa (mg) e o peso fresco saturado em água (mg). As folhas foram secas em estufa a 75 °C por 72 h, até atingirem massa constante, e posteriormente pesadas em balança digital.

O rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) foi mensurado em folhas adaptadas ao escuro utilizando um fluorômetro não modulado (Handy PEA) (YAN et al., 2013). As folhas permaneceram em adaptação ao escuro por 30 minutos antes da mensuração, conforme protocolos estabelecidos (MAXWELL; JOHNSON, 2000; BAKER, 2008; MURCHIE; LAWSON, 2013).

A área foliar (cm²) foi quantificada por meio do software ImageJ (SCHNEIDER et al., 2012). Imediatamente após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos

plásticos vedados para manutenção da hidratação e refrigeradas quando necessário. Antes das medições, a umidade superficial foi removida cuidadosamente com papel absorvente de laboratório, e a massa fresca foi registrada.

A altura das plantas foi medida a partir da superfície do solo até o topo do dossel, utilizando fita métrica, conforme recomendado por CORNELISSEN et al. (2003).

Tabela 1- Traços funcionais medidos em duas espécies arbóreas pioneiras nativas (*Croton urucurana* e *Pleroma granulosum*), incluindo as unidades de medida e seus respectivos eixos funcionais associados. Os eixos funcionais seguem referenciais padronizados baseados em traços funcionais (WRIGHT et al., 2004; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

Traços funcionais	Sigla	Unidade	Eixo funcional
Área específica foliar	SLA	cm ² g ⁻¹	Economia foliar; aquisição de recursos
Conteúdo de matéria seca foliar	LDMC	mg g ⁻¹	Investimento estrutural; densidade tecidual
Peso seco foliar	Dry mass	g	Alocação de biomassa; custo de construção foliar
Rendimento quântico máximo do fotossistema II	Fv/Fm	-	Desempenho fotoquímico; estresse fisiológico
Área foliar	LA	cm ²	Interceptação de luz; estratégia de tamanho foliar
Peso fresco foliar	FW	g	Investimento de biomassa
Altura da planta	H	m	Crescimento vertical; Capacidade competitiva

Fonte: O autor (2025)

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software R* (versão 4.4.1; R CORE TEAM, 2024). O fluxo analítico combinou análises exploratórias dos dados, testes não paramétricos e modelos lineares mistos generalizados (GLMMs). A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro–Wilk e da inspeção visual de gráficos Q–Q (CRAWLEY, 2013). Como os pressupostos de normalidade não foram atendidos, adotaram-se abordagens não paramétricas e métodos flexíveis quanto à distribuição dos dados.

Os traços funcionais das espécies selecionadas foram analisados por meio de análise de componentes principais (PCA), baseada em uma matriz de correlação, com o objetivo de sintetizar padrões multivariados e reduzir a dimensionalidade dos dados. Todos os traços (peso fresco, área foliar, SLA, peso seco, LDMC, altura e Fv/Fm) foram centralizados e padronizados antes da análise, e a PCA foi conduzida utilizando o pacote *FactoMineR* (HUSSON et al., 2017). Esse procedimento permitiu avaliar as correlações entre os traços individuais e os principais eixos de variação, bem como identificar gradientes coordenados de estratégias de uso de recursos (Figura A 1, Apêndice). Os *biplots* e ordenações foram posteriormente visualizados com o pacote *factoextra* (KASSAMBARA; MUNDT, 2020), e a identidade das espécies e os níveis de riqueza foram sobrepostos para inspecionar diferenças no espaço multivariado de traços.

A variabilidade intraespecífica dos traços foi quantificada por meio do coeficiente de variação (CV), calculado como a razão entre o desvio-padrão e a média (SOKAL; ROHLF, 1995). Os CVs foram estimados para cada traço e espécie com base em dados em nível de parcela. O CV da altura das plantas não foi calculado, uma vez que apenas uma medida por indivíduo estava disponível. Diferenças nos CVs entre espécies foram avaliadas por meio do teste de Wilcoxon para amostras independentes, com correção de Holm ($\alpha = 0,05$) para comparações múltiplas, adotada em função da não normalidade dos dados e do controle do erro do tipo I (WILCOXON, 1945; MANN; WHITNEY, 1947). Os tamanhos de efeito foram calculados como $r = Z/\sqrt{N}$, em que o sinal indica a espécie com maior CV (positivo = *P. granulosum* > *C. urucurana*; negativo = *C. urucurana* > *P. granulosum*). Para testar

se a variabilidade intraespecífica diferiu entre níveis de riqueza, foram aplicados testes de Kruskal–Wallis separadamente para cada espécie e traço.

Os GLMMs foram utilizados para avaliar os efeitos da riqueza de espécies e da identidade das espécies sobre os valores individuais dos traços funcionais. A riqueza de espécies e a identidade das espécies em questão foram incluídas como efeitos fixos, e a identidade do bloco como intercepto aleatório. Os modelos foram ajustados utilizando o pacote *glmmTMB* (BROOKS et al., 2017), com distribuições de erro selecionadas de acordo com a estrutura empírica dos dados. O diagnóstico dos modelos foi realizado por meio da inspeção de resíduos e de gráficos Q–Q (CRAWLEY, 2013).

A coordenação entre traços foi avaliada por meio de modelos mistos adicionais, nos quais um traço foi tratado como variável resposta e outro como variável preditora. Os papéis dos traços foram definidos a priori com base na teoria ecológica, sendo SLA e LDMC geralmente considerados como traços resposta, e Fv/Fm e altura como traços efeito (SUDING et al., 2008). Esse arcabouço analítico permitiu avaliar como os traços funcionais covariam entre espécies e ao longo de diferentes contextos de riqueza de espécies.

4 RESULTADOS

Diferenciação em nível de espécie ao longo de um gradiente de estratégias de uso de recursos

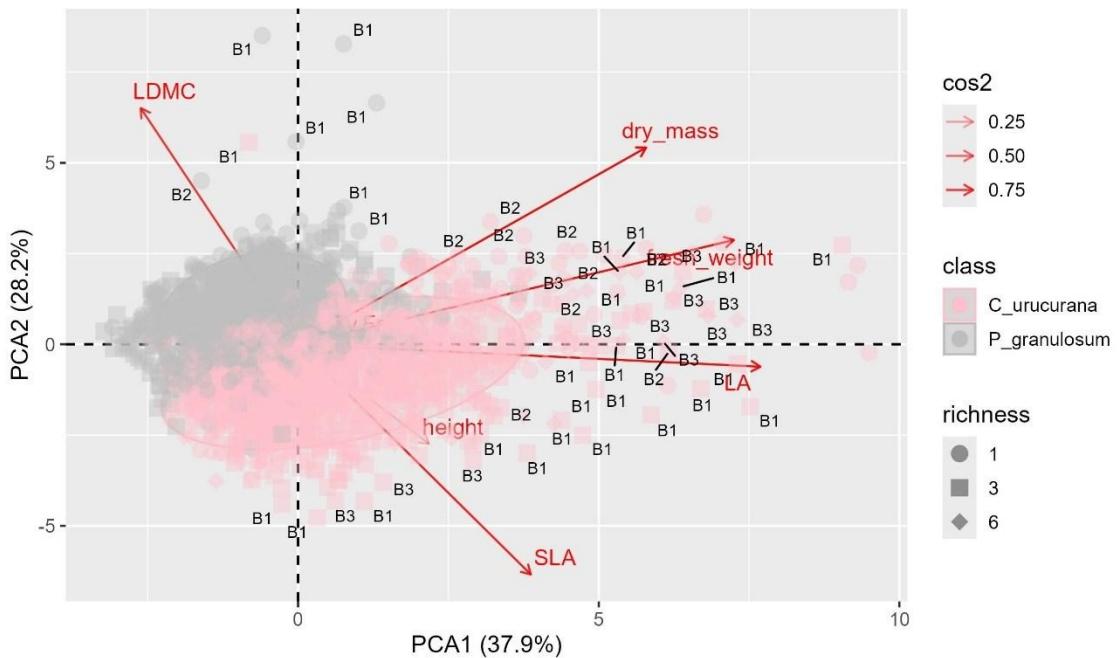
A análise de componentes principais (PCA) revelou uma clara estruturação multivariada dos traços funcionais, com os dois primeiros eixos explicando 37,9% (PCA1) e 28,2% (PCA2) da variação total dos dados (Figura 2). O PCA1 representou um gradiente de estratégias aquisitivas de uso de recursos, apresentando associações fortes e positivas com a área foliar (LA; $r = 0,95$; $p < 0,05$), a massa fresca ($r = 0,90$; $p < 0,05$), a massa seca ($r = 0,72$; $p < 0,05$) e a área foliar específica (SLA; $r = 0,48$; $p < 0,05$). Em contraste, o conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) apresentou carga negativa no PCA1 ($r = -0,33$; $p < 0,05$), caracterizando um eixo associado a estratégias mais conservativas de investimento.

O PCA2 capturou principalmente variações relacionadas ao investimento estrutural e mecânico, com o LDMC apresentando a carga positiva mais elevada ($r = 0,81$; $p < 0,05$) e a massa seca também contribuindo positivamente para esse eixo ($r = 0,67$; $p < 0,05$). A altura das plantas apresentou carga moderada no PCA2 ($r = -0,34$; $p < 0,05$), indicando alinhamento parcial com traços aquisitivos. Em conjunto, os dois eixos da PCA distinguiram os indivíduos de acordo com seus perfis morfológicos e fisiológicos foliares.

Observou-se uma forte separação em nível de espécie no espaço multivariado, com *Croton urucurana* distribuída predominantemente em direção à extremidade aquisitiva do PCA1, enquanto *Pleroma granulosum* concentrou-se em regiões da ordenação associadas a estratégias estruturalmente mais conservativas. Adicionalmente, os tratamentos de riqueza de espécies promoveram deslocamentos visíveis na dispersão dos pontos ao longo de ambos os eixos, indicando ajustes na morfologia foliar e nas estratégias de uso de recursos associados à riqueza. No entanto, tais deslocamentos foram menos pronunciados do que as diferenças observadas entre as espécies (Figura 2)

Figura 2- Análise de componentes principais (PCA) de sete traços funcionais mensurados em duas espécies arbóreas pioneiras sob restauração ativa da Mata Atlântica. Os vetores dos traços representam as cargas associadas à área foliar específica (SLA), área foliar (LA), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), peso fresco foliar (fresh_weight), peso seco foliar (dry_mass), altura da planta (height) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm). Cada ponto representa um indivíduo arbóreo posicionado de acordo com seu perfil multivariado de traços. As elipses representam intervalos de confiança de 75% ao redor dos centróides das

espécies, ilustrando separação consistente no espaço funcional. As identificações individuais (B1, B2, B3) correspondem aos blocos experimentais.



A variação intraespecífica diferiu de forma consistente entre as duas espécies estudadas (Tabela 2). *Croton urucurana* apresentou coeficientes de variação (CV) significativamente mais elevados do que *Pleroma granulosum* para a área foliar específica (SLA), o peso fresco (FW) e o peso seco foliar (testes de Wilcoxon, $p < 0,05$). Em contraste, os CVs da área foliar (LA), do conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) e do rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) não diferiram significativamente entre as espécies (Tabela 2).

Os tamanhos de efeito indicaram diferenças na variabilidade de traços morfológicos entre as espécies, enquanto a variabilidade fisiológica, representada por Fv/Fm, foi baixa e semelhante entre elas (Tabela 2). Essas diferenças foram observadas ao longo dos diferentes níveis de riqueza de espécies, sendo a identidade da espécie o principal fator explicativo da variação nos CVs para os traços que apresentaram diferenças significativas.

Tabela 2- Resultados dos testes de Wilcoxon para amostras independentes comparando o coeficiente de variação (CV) dos traços funcionais entre *Croton*

urucurana e *Pleroma granulosum*. Para cada traço, são apresentados: a estatística do teste de Wilcoxon (W), os valores de p brutos (p), os valores de p ajustados pelo método de Holm (p_holm) e os tamanhos de efeito (r). Os valores médios de CV são apresentados para *C. urucurana* (med_C) e *P. granulosum* (med_P). Valores negativos de r indicam maior CV em *C. urucurana*, enquanto valores positivos indicam maior CV em *P. granulosum*. FW = peso fresco foliar; SLA = área foliar específica; LA = área foliar; LDMC = conteúdo de matéria seca foliar; Fv/Fm = rendimento quântico máximo do fotossistema II.

Traços funcionais	W	p	r	p_holm	me_C	me_P
FW	2	0	-	0.00	49.0	29.
	18		0.795	01		1
SLA	5	0	0.	0.00	21.6	48.
			810	01		8
Dry mass	2	0.0	-	0.00	51.1	31.
	06	001	0.704	05		3
Fv/Fm	9	0.5	-	1	5.8	5.2
LA	8	05	0.131			7
	1	0.4	-	1	52.3	48.
	31	55	0.136			9
LD	1	0.4	-	1	11.2	9.0
MC	33	07	0.152			9

Fonte: O autor (2026)

Efeitos da riqueza de espécies sobre a variabilidade intraespecífica dos traços

A riqueza de espécies não exerceu efeito significativo sobre a variabilidade intraespecífica dos traços funcionais em nenhuma das espécies analisadas (Apêndice, Tabela A 1). Os testes de Kruskal–Wallis não indicaram diferenças significativas nos coeficientes de variação (CV) entre os níveis de riqueza (monocultivos, misturas de três espécies e misturas de seis espécies) para SLA, LDMC, área foliar (LA), peso fresco (FW), peso seco ou Fv/Fm ($p > 0,05$ para todos os testes; Apêndice, Tabela A 1). Esse padrão foi consistente tanto para *Croton urucurana* quanto para *Pleroma granulosum*.

Embora *P. granulosum* tenha apresentado tendências marginais de aumento do CV para LA ($\chi^2 = 5,13$; $p = 0,077$) e FW ($\chi^2 = 4,73$; $p = 0,094$), tais tendências não foram estatisticamente significativas e não se mostraram consistentes entre os diferentes traços e espécies (Apêndice, Tabela A 1). De modo geral, a riqueza de espécies não modificou a variabilidade intraespecífica dos traços funcionais durante as fases iniciais da restauração.

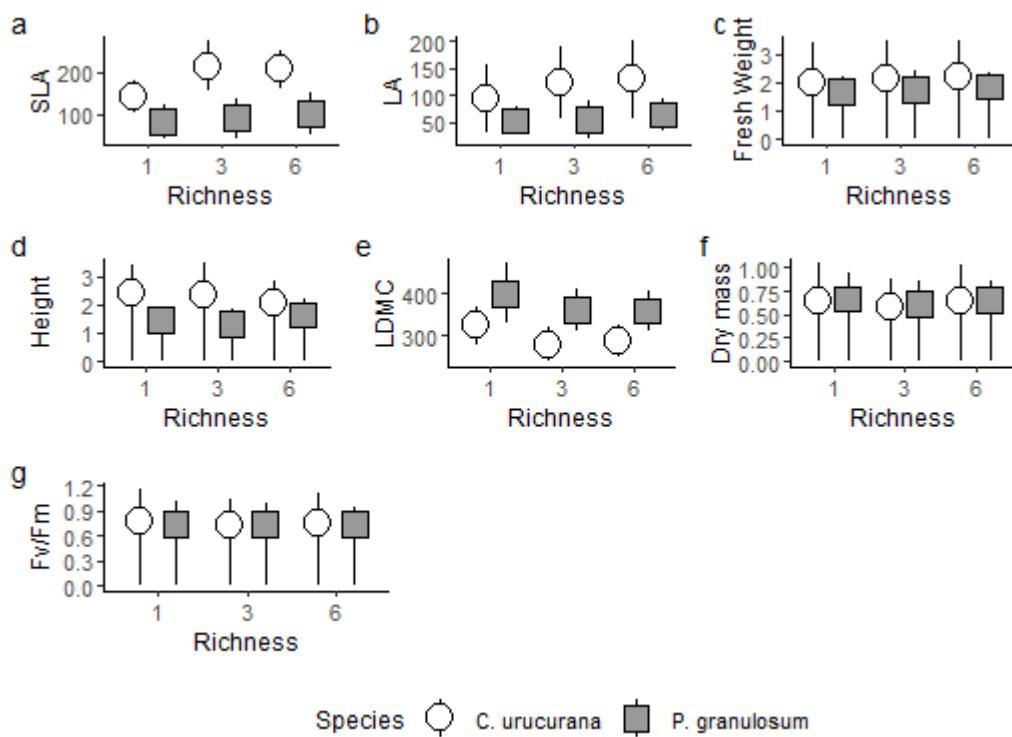
Efeitos da identidade da espécie e da riqueza sobre a expressão dos traços

Os modelos lineares mistos generalizados (GLMMs) revelaram efeitos significativos tanto da riqueza de espécies quanto da identidade das espécies sobre diversos traços avaliados (Figura 3; Apêndice, Tabela A 2). Em comparação com *P. granulosum*, *C. urucurana* apresentou valores mais elevados de SLA, massa fresca (FW), área foliar (LA) e altura (H), enquanto o LDMC foi maior em *P. granulosum*. A massa seca e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) não diferiram significativamente entre as espécies (Tabela A 2).

A riqueza de espécies exerceu efeitos específicos sobre os valores médios dos traços, independentemente da identidade da espécie. SLA, LA e FW aumentaram significativamente com o incremento da riqueza, enquanto LDMC e Fv/Fm apresentaram redução ao longo do gradiente de riqueza ($p < 0,05$; Apêndice, Tabela A 2). O peso seco exibiu uma resposta não linear à riqueza de espécies, com valores significativamente menores observados nas misturas de três espécies (Estimate = $-0,087$; $z = -3,58$; $p = 0,0003$), enquanto não houve diferença entre monocultivos e misturas de seis espécies (Estimate = $-0,003$; $z = -0,11$; $p = 0,9163$). A altura das plantas também apresentou resposta não linear à riqueza, com leve redução nas misturas de três espécies (Estimate = $-0,115$; $z = -2,16$; $p = 0,031$), mas sem diferença entre monocultivos e misturas de seis espécies (Estimate = $-0,036$; $z = -0,57$; $p = 0,569$).

Em todos os modelos, o efeito aleatório do bloco explicou apenas uma pequena proporção da variação dos traços (ICC $\leq 0,07$ para a maioria dos traços), indicando que o bloqueamento espacial contribuiu minimamente para os padrões observados (Apêndice, Tabela A 2).

Figura 3- Valores médios dos traços funcionais ($\pm EP$) de *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum* ao longo dos níveis de riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies), apresentando: a. área foliar específica (SLA, $cm^2 g^{-1}$); b. área foliar (LA, cm^2); c. peso fresco foliar (g); d. altura da planta (m); e. conteúdo de matéria seca foliar (LDMC, mg g^{-1}); f. peso seco foliar (g); e g. rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm). As barras de erro indicam ± 1 erro padrão.



Coordenação de traços ao longo das espécies e dos níveis de riqueza

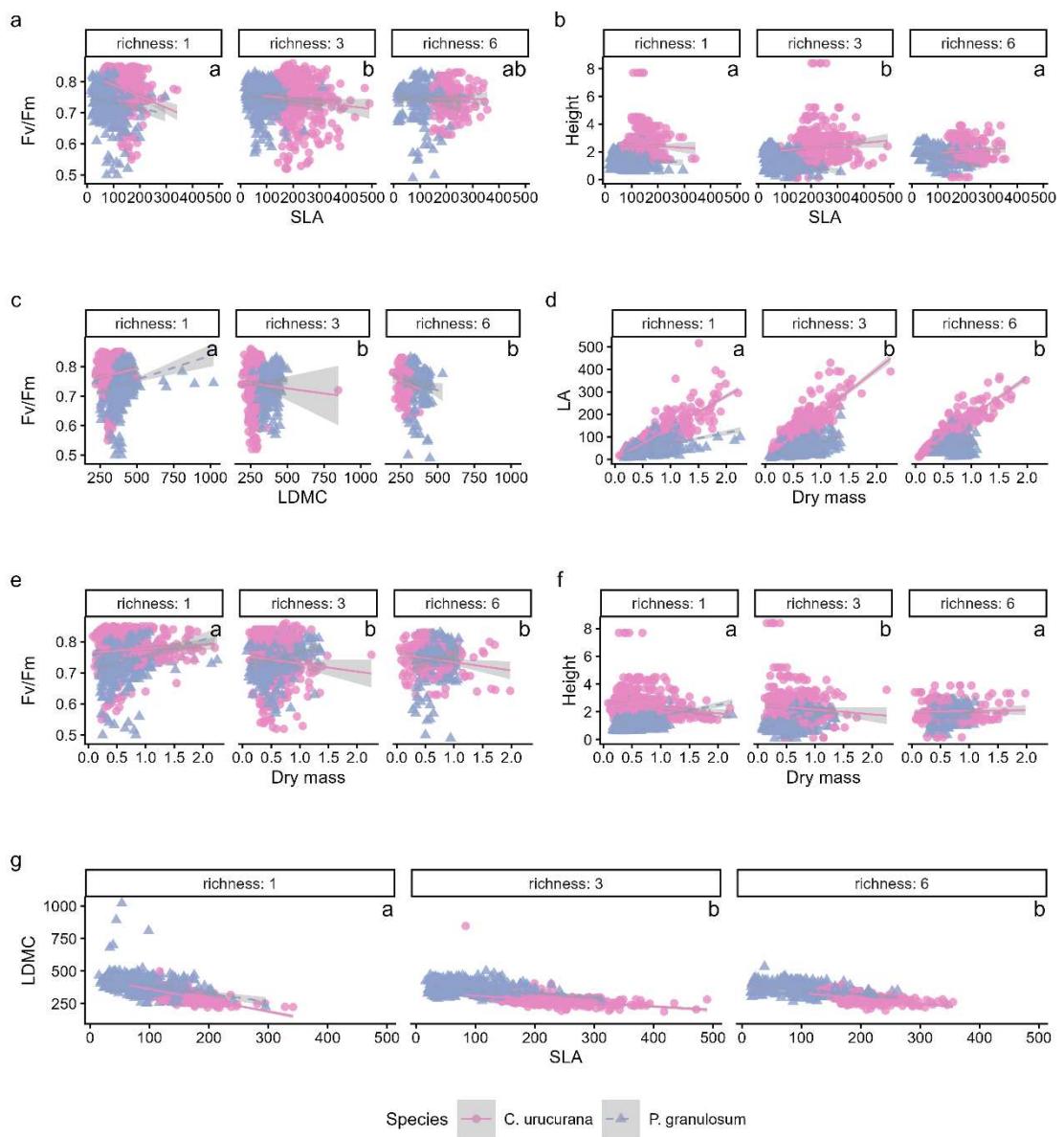
A modelagem das relações entre traços revelou padrões consistentes de coordenação entre espécies e níveis de riqueza (Figura 4; Apêndice *Figura A 3; Tabela A 3*). O SLA apresentou associação negativa com o LDMC, refletindo o trade-off esperado entre estratégias aquisitivas e conservativas. O SLA esteve positivamente relacionado à área foliar (LA) e ao peso fresco (FW), enquanto o LDMC apresentou associações negativas com esses traços morfológicos (*Figura 4; Figura A 3; Tabela A 3*).

A altura das plantas escalou positivamente com a área foliar e a peso seco em ambas as espécies, com relações funcionais semelhantes ao longo dos diferentes

níveis de riqueza. O Fv/Fm exibiu associações negativas com SLA, LA e peso seco, indicando menor eficiência fotoquímica em indivíduos que expressaram traços morfológicos mais aquisitivos. Os modelos de efeitos mistos indicaram que a identidade da espécie explicou a maior parte da variação nas relações entre traços, enquanto a riqueza de espécies teve influência limitada sobre os coeficientes angulares ou interceptos (Tabela A 3). De forma geral, os padrões centrais de coordenação de traços foram conservados ao longo dos tratamentos de riqueza.

Figura 4- Relações bivariadas entre traços funcionais e variáveis relacionadas ao desempenho para *Croton urucurana* (círculos rosa, linhas contínuas) e *Pleroma granulosum* (triângulos azuis, linhas tracejadas) ao longo dos níveis de riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies). Os painéis apresentam as relações entre: a. área foliar específica (SLA, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm); b. SLA e altura da planta (m); c. conteúdo de matéria seca foliar (LDMC, mg g^{-1}) e altura da planta; d. LDMC e Fv/Fm; e. LDMC e área foliar (LA, cm^2); f. peso seco foliar (Dry mass, g) e LA; g. LA e Fv/Fm; h. peso seco foliar (Dry mass) e Fv/Fm; i. peso seco foliar e altura da planta; e j. SLA e LDMC. Os pontos representam indivíduos dentro de cada nível de riqueza. As linhas indicam os ajustes dos modelos traço-traço para cada espécie, com áreas sombreadas representando intervalos de confiança de

95%. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de riqueza em relação à riqueza 1 (contrastos baseados em modelo, $p < 0,05$).



5 DISCUSSÃO

Este estudo indica que tanto a riqueza de espécies quanto a identidade das espécies desempenham papéis importantes, porém distintos, na determinação da expressão de traços funcionais durante as fases iniciais da restauração da Mata Atlântica. O aumento da riqueza da comunidade esteve associado a valores médios mais elevados de traços morfológicos relacionados à aquisição de recursos, incluindo área foliar específica (SLA), área foliar (LA) e peso fresco (FW). Em contraste, traços fisiológicos e estruturais, como rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), altura e conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), apresentaram respostas mais fracas ou não lineares ao gradiente de riqueza. Apesar dessas mudanças nos valores médios dos traços associadas à riqueza, as diferenças interespecíficas permaneceram como a principal fonte de variação, reforçando a importância da identidade das espécies na determinação das estratégias funcionais durante a montagem inicial das comunidades.

Esses padrões foram corroborados pela análise de componentes principais (PCA), que revelou um claro gradiente aquisitivo conservativo ao longo do primeiro eixo, com *Croton urucurana* posicionando-se na extremidade mais aquisitiva do espectro, apresentando valores maiores de SLA e menores de LDMC, sugerindo maior alocação em crescimento rápido sob alta disponibilidade de recursos. Já *Pleroma granulosum* associou-se a combinações de traços relativamente mais conservativas, com maior investimento estrutural e desempenho fotoquímico mais estável, indicando um equilíbrio entre crescimento acelerado e maior tolerância ao estresse ambiental. A separação consistente entre as espécies no espaço multivariado indica que a identidade das espécies impõe uma assinatura biomecânica e fisiológica dominante na montagem funcional inicial, mesmo diante da modulação dos valores médios dos traços pela riqueza. Embora ambas sejam classificadas como espécies arbóreas pioneiras nativas da Mata Atlântica, os resultados evidenciam uma diferenciação funcional clara entre elas ao longo do espectro de uso de recursos.

Variação intraespecífica de traços funcionais

A variação intraespecífica foi elevada em ambas as espécies, porém não respondeu às mudanças na riqueza de espécies, indicando que a riqueza não influenciou a variabilidade dos traços durante a restauração inicial. Em vez disso, diferenças no coeficiente de variação foram detectadas apenas para SLA e traços relacionados à biomassa, enquanto LDMC e Fv/Fm apresentaram valores de CV semelhantes entre as espécies. Esses resultados indicam que a variação intraespecífica de traços em plantios iniciais de restauração é estruturada principalmente pela identidade das espécies e pela heterogeneidade ambiental em pequena escala, e não pelo gradiente de riqueza em si (LOUREIRO; SANSEVERO, 2025; SILVA et al., 2025).

Estudos empíricos que abordam explicitamente a variação intraespecífica de traços (ITV) nas fases iniciais da restauração de florestas tropicais ainda são escassos. Nesse contexto, evidências provenientes de sistemas florestais maduros fornecem um referencial conceitual útil, embora comparações diretas sejam limitadas. Por exemplo, BENAVIDES et al. (2019) relataram aumento da ITV arquitetônica sob maior riqueza de espécies em florestas europeias maduras, atribuindo esse padrão ao fechamento do dossel, ao empacotamento de copas e à otimização espacial de longo prazo. Tais mecanismos são improváveis em plantios iniciais de restauração, nos quais o dossel ainda não está fechado, as interações bióticas são fracas e a estrutura etária das populações é restrita (TILMAN 1985). Essa interpretação está de acordo com arcabouços teóricos que propõem que a ITV emerge a partir de processos de diferenciação ontogenética, estruturação populacional e históricos prolongados de interação, condições geralmente ausentes nos estágios iniciais da sucessão (CHESSON, 2000; BOLNICK et al., 2003; ANGERT et al., 2009; ALBERT et al., 2011; VIOILLE, 2012).

A ausência de efeitos da riqueza sobre a ITV sugere que a dinâmica inicial da restauração é dominada por processos de estabelecimento, e não por interações competitivas ou complementares entre espécies (KUNSTLER et al., 2016; BENAVIDES et al., 2019). Durante os primeiros anos após o plantio, os indivíduos experimentam disponibilidade relativamente homogênea de recursos devido à abertura do dossel, à baixa densidade de vizinhança e às práticas de manejo, como a capina (CHAZDON, 2014). Nessas condições, o filtro ambiental e trajetórias de desenvolvimento específicas das espécies tendem a gerar mais variação do que interações mediadas pela diversidade. Padrões semelhantes foram observados em

florestas experimentais jovens, nas quais a ITV passa a responder à riqueza apenas após o fechamento do dossel, quando a partição de nichos e a competição local se intensificam (BENAVIDES et al., 2019; WESTERBAND et al., 2021). Nossos resultados, portanto, sugerem que a sensibilidade da ITV à riqueza pode emergir em fases mais avançadas da trajetória de restauração, quando os indivíduos acumulam históricos de interação e experimentam maior diferenciação microambiental.

Efeitos da riqueza de espécies e da identidade das espécies sobre a expressão dos traços

A identidade das espécies foi o principal determinante da expressão dos traços durante o estabelecimento inicial, enquanto a riqueza de espécies promoveu mudanças específicas nos valores médios. O aumento da riqueza favoreceu maiores valores de SLA, LA e FW, acompanhados por menores valores de LDMC e Fv/Fm, em consonância com um deslocamento em direção a estratégias mais aquisitivas em nível comunitário. Em contraste, a variância intraespecífica e a coordenação central entre traços permaneceram amplamente inalteradas ao longo dos níveis de riqueza. Assim, embora a riqueza tenha alterado a expressão média dos traços, não reorganizou a variabilidade dos traços nem a estrutura das relações entre eles.

Esse padrão indica um processo de montagem dominado pela identidade das espécies, no qual os efeitos composicionais influenciam principalmente os valores médios dos traços, e não sua variância ou coordenação. Tal dissociação entre mudanças nos valores médios e alterações na variância ou na arquitetura funcional é consistente com o espectro econômico foliar e com estudos que demonstram que comunidades em estágios sucessionais iniciais são fortemente controladas pela identidade das espécies pioneiras e pelo filtro ambiental, com reorganizações funcionais mais pronunciadas ocorrendo apenas quando as interações competitivas se intensificam (WRIGHT et al., 2004; DE BELLO et al., 2021; POORTER et al., 2021). Estudos recentes sugerem que mudanças na composição de espécies ao longo do desenvolvimento florestal não são necessariamente acompanhadas por uma reorganização imediata das distribuições de traços funcionais ou da diversidade funcional, especialmente em estágios iniciais da sucessão (BACKHAUS et al., 2021; MUSCARELLA et al., 2025).

Relações entre traços funcionais ao longo do gradiente de riqueza

Entre as espécies, a coordenação dos traços estruturais foi forte e consistente com o espectro econômico foliar, uma vez que ambas apresentaram a associação negativa esperada entre SLA e LDMC (WRIGHT et al., 2004). A área foliar escalou positivamente com o peso seco foliar, e a altura aumentou de forma não linear com o peso seco foliar, reforçando a coordenação estreita entre alocação estrutural e crescimento (FALSTER et al., 2018). Essas relações foram amplamente conservadas entre os tratamentos de riqueza, indicando uma arquitetura funcional subjacente estável. Persistência semelhante da coordenação central de traços sob forte filtragem ambiental tem sido relatada para comunidades vegetais neotropicais ao longo de gradientes contrastantes de recursos (FREITAS et al., 2024).

Em contraste, a eficiência fotoquímica apresentou associações mais fracas e dependentes do contexto com os traços estruturais. Reduções em Fv/Fm em altos valores de SLA e LA, bem como sua relação não linear com o peso seco foliar, sugerem custos fisiológicos de curto prazo associados ao aumento da demanda metabólica e à intensificação das interações bióticas (MAXWELL; JOHNSON, 2000; POORTER et al., 2009; CERQUEIRA et al., 2025). Em conjunto, esses resultados indicam que, embora a coordenação dos traços estruturais permaneça conservada, o aumento da riqueza modifica a expressão e a intensidade de algumas relações entre traços, revelando *trade-offs* emergentes de desempenho, em vez de ganhos coordenados em eficiência fisiológica.

Estratégias de aquisição de recursos e relevância para a restauração

Embora *C. urucurana* e *P. granulosum* se enquadrem no domínio tipicamente aquisitivo das espécies pioneiras, nossos resultados revelam diferenças relativas em seu posicionamento funcional ao longo do contínuo aquisitivo–conservativo. *P. granulosum* apresentou valores mais elevados de SLA e menores de LDMC, consistentes com rápida expansão foliar e interceptação de luz, enquanto *C. urucurana* apresentou maior investimento em biomassa, maior estatura e maior eficiência fotoquímica, refletindo uma estratégia comparativamente mais reforçada estruturalmente e fisiologicamente mais estável (WRIGHT et al., 2004; POORTER et

al., 2009; REICH, 2014). Essa diferenciação dentro do grupo de espécies pioneiras é comum e pode favorecer a complementaridade de nichos e a coexistência durante a sucessão inicial (WRIGHT et al., 2004; DÍAZ et al., 2016; REIS et al., 2025).

Sob a perspectiva da restauração, nossos resultados são consistentes com abordagens de montagem baseadas em traços funcionais que combinam espécies com estratégias contrastantes. A associação de espécies altamente aquisitivas e de rápido crescimento, que aceleram o fechamento do dossel, com espécies que apresentam maior amortecimento fisiológico e investimento estrutural pode contribuir tanto para o desempenho de curto prazo quanto para a resiliência em longo prazo (CHARLES, 2018). Além disso, evidências recentes indicam que maior diversidade arbórea pode promover o preenchimento do espaço do dossel e o aumento da complexidade estrutural, acelerando o desenvolvimento florestal e o funcionamento dos ecossistemas (RAY et al., 2024; FAHEY et al., 2025). Nossos resultados sugerem que, embora o contexto biótico possa modular a expressão dos traços, as trajetórias iniciais de restauração permanecem amplamente governadas pela diferenciação funcional intrínseca entre as espécies, que estabelece a base para ajustes subsequentes nas estratégias de uso de recursos e no desempenho funcional.

6 CONCLUSÕES

Nossos resultados indicam que a riqueza de espécies e a identidade das espécies atuam conjuntamente na determinação da expressão de traços funcionais durante as fases iniciais da restauração de florestas tropicais, porém com contribuições distintas. O aumento da riqueza de espécies esteve associado a mudanças nos valores médios de traços morfológicos relacionados à aquisição de recursos, enquanto traços fisiológicos e estruturais apresentaram respostas mais fracas ou não lineares. Em todos os níveis de riqueza, a identidade das espécies explicou consistentemente a maior parte da variação nos traços funcionais, evidenciando uma diferenciação intrínseca nas estratégias de uso de recursos entre as duas espécies pioneiras.

Esses resultados sugerem que as trajetórias iniciais da restauração são influenciadas principalmente por estratégias funcionais específicas das espécies, enquanto a riqueza de espécies modula a expressão dessas estratégias, sem reorganizar substancialmente a variabilidade ou a coordenação entre traços. Ao integrar identidade das espécies, gradientes de riqueza e múltiplas dimensões da expressão de traços funcionais em um contexto experimental de restauração, este estudo contribui para uma compreensão mais refinada de como fatores bióticos influenciam as respostas funcionais das plantas durante a regeneração inicial de florestas tropicais. Esses achados podem subsidiar o planejamento da restauração ao destacar a importância da seleção de espécies e da complementaridade funcional nas etapas iniciais da montagem das comunidades.

7 REFERÊNCIAS

ALBERT, C. H.; GRASSEIN, F.; SCHURR, F. M.; VIEILLEDET, G.; VIOLE, C. When and how should intraspecific variability be considered in trait based plant ecology? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 13, p. 217-225, 2011. DOI: 10.1016/j.ppees.2011.04.003.

ALMEIDA, C.; VIANI, R. A. G. Tree species planted for the Atlantic Forest restoration: a floristic and functional analysis. Versão 2. São Carlos: Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, Universidade Federal de São Carlos, 2020. Disponível em: https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Almeida-Viani-esp%C3%A9cies-plantadas-na-restaura%C3%A7%C3%A3o-da-Mata-Atl%C3%A2ntica_v2ago2020.pdf

ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JUNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. *Revista Árvore*, v. 27, p. 53-57, 2003. DOI: 10.1590/S0100-67622003000100007.

ANGERT, A. L.; HUXMAN, T. E.; CHESSON, P.; VENABLE, D. L. Functional tradeoffs determine species coexistence via the storage effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 106, p. 11641-11645, 2009. DOI: 10.1073/pnas.0904512106.

ARRUDA, D. M.; VILLA, P.; RODRIGUES, A.; VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E. Atlantic Forests: phytogeography and conservation. In: DEMOLIN-LEITE, G. L. (ed.). *Terrestrial biomes: global biome conservation and global warming impacts on ecology and biodiversity*. London: Academic Press, 2025. p. 443-456.

BACKHAUS, L.; ALBERT, G.; CUCHIETTI, A.; JAIMES NINO, L. M.; FAHS, N.; LISNER, A.; GARCIA MEDINA, N. Shift from trait convergence to divergence along old-field succession. *Journal of Vegetation Science*, v. 32, e12986, 2021. DOI: 10.1111/jvs.12986.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 89–113, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759.

BENAVIDES, R.; SCHERER-LORENZEN, M.; VALLADARES, F. The functional trait space of tree species is influenced by the species richness of the canopy and the type of forest. *Oikos*, v. 128, p. 1435–1445, 2019. DOI: 10.1111/oik.06348.

BOLNICK, D. I.; SVANBÄCK, R.; FORDYCE, J. A.; YANG, L. H.; DAVIS, J. M.; HULSEY, C. D.; FORISTER, M. L. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *The American Naturalist*, v. 161, p. 1–28, 2003. DOI: 10.1086/343878.

BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H. J.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. M. Modeling zero-inflated count data with glmmTMB. *bioRxiv*, 132753, 2017. DOI: 10.1101/132753.

BROUWER, R.; PEÑA-CLAROS, M.; BONGERS, F.; POORTER, L.; GUILLEMOT, J.; ALMEIDA, D. R. A.; DE ALMEIDA, C. T.; RESENDE, A. F.; SIMÕES, L. H. P.; IVANAUSKAS, N. M.; FERREIRA DE LIMA, R. A.; SOUZA, V. C.; TOLEDO, C. A. P.; COOPER, M.; FERNANDES NETO, J. G.; DECUYPER, M.; MOLIN, P. G.; RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S. Functional recovery of tropical forests: The role of restoration methods and environmental conditions. *Biological Conservation*, v. 309, article 111269, 2025. DOI: 10.1016/j.biocon.2025.111269.

CAMPANHARO, I. F.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Functional composition enhances aboveground biomass stock undergoing active forest restoration on mining tailings in Mariana, Brazil. *Restoration Ecology*, v. 29, e13399, 2021. DOI: 10.1111/rec.13399.

CANDEIAS, M.; FRATERRIGO, J. Trait coordination and environmental filters shape functional trait distributions of forest understory herbs. *Ecology and Evolution*, v. 10, p. 14098–14112, 2020. DOI: 10.1002/ece3.7000.

CARRIJO, J. N.; MARACAHIPES, L.; SCALON, M. C. et al. Functional traits as indicators of ecological strategies of savanna woody species under contrasting substrate conditions. *Flora*, v. 284, 151925, 2021. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151925.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 5. Brasília: Embrapa, 2014.

CERQUEIRA, A. F.; SOUSA-SANTOS, C.; SANTOS, M. S.; FERNANDES, V. F.; SILVA, J. L. A.; PÉREZ-MOLINA, J. P.; FARIA, D. M.; VITÓRIA, A. P.; MIELKE, M. S. Can leaf traits related to photoacclimation help explain the disappearance of an endangered palm species in deforested landscapes? *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v. 37, p. 26, 2025. DOI: 10.1007/s40626-025-00371-6.

CHARLES, L. S. Plant functional traits and species selection in tropical forest restoration. *Tropical Conservation Science*, v. 11, p. 1940082918784157, 2018. DOI: 10.1177/1940082918784157.

CHAZDON, R. L. *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. Chicago: University of Chicago Press, 2014.

CHESSON, P. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 31, p. 343–366, 2000. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.31.1.343.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. The influence of fire on phylogenetic and functional structure of woody savannas: moving from species to

individuals. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 14, p. 205–216, 2012. DOI: 10.1016/j.ppees.2011.11.004.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v. 51, p. 335–380, 2003. DOI: 10.1071/BT02124.

CONNELL, J. H.; SLATYER, R. O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, v. 111, p. 1119–1144, 1977. DOI: 10.1086/283241.

CRAWLEY, M. J. *The R book*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

CROUZEILLES, R.; CURRAN, M.; FERREIRA, M. S.; LINDENMAYER, D. B.; GRELLE, C. E. V.; BENAYAS, J. M. R. A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. *Nature Communications*, v. 7, 11666, 2016. DOI: 10.1038/ncomms11666.

DALERUM, F.; CAMERON, E. Z.; KUNKEL, K.; SOMERS, M. J. Interactive effects of species richness and species traits on functional diversity and redundancy. *Theoretical Ecology*, v. 5, p. 129–139, 2012. DOI: 10.1007/s12080-010-0104-y.

DE BELLO, F.; BOTTA-DUKÁT, Z.; LEPŠ, J.; FIBICH, P. Towards a more balanced combination of multiple traits when computing functional differences between species. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 12, p. 443–448, 2021. DOI: 10.1111/2041-210X.13537.

DENSLOW, J. S. Gap partitioning among tropical rainforest trees. *Biotropica*, v. 12, p. 47–55, 1980. DOI: 10.2307/2388156.

DÍAZ, S.; KATTGE, J.; CORNELISSEN, J. H. C. et al. The global spectrum of plant form and function: enhanced species-level trait dataset. *Scientific Data*, v. 9, 755, 2022. DOI: 10.1038/s41597-022-01774-9.

DÍAZ, S.; KATTGE, J.; CORNELISSEN, J. H. C.; WRIGHT, I. J.; LAVOREL, S.; DRAY, S.; REU, B.; KLEYER, M.; WIRTH, C.; PRENTICE, I. C.; GARNIER, E.; BÖNISCH, G.; WESTOBY, M.; POORTER, H.; REICH, P. B.; MOLES, A. T.; DICKIE, J.; GILLISON, A. N.; ZANNE, A. E.; CHAVE, J.; WRIGHT, S. J.; SHEREMET'EV, S. N.; JACTEL, H.; BARALOTO, C.; CERABOLINI, B.; PIERCE, S.; SHIPLEY, B.; KIRKUP, D.; CASANOVES, F.; JOSWIG, J. S.; GÜNTHER, A.; FALCZUK, V.; RÜGER, N.; MAHECHA, M. D.; GORNÉ, L. D. The global spectrum of plant form and function. *Nature*, v. 529, p. 167–171, 2016. DOI: 10.1038/nature16489.

DONOVAN, L. A.; MAHERALI, H.; CARUSO, C. M.; HUBER, H.; DE KROON, H. The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 26, p. 88–95, 2011. DOI: 10.1016/j.tree.2010.11.011.

DWYER, J. M.; LAUGHLIN, D. C. Constraints on trait combinations explain climatic drivers of biodiversity: the importance of trait covariance in community assembly. *Ecology Letters*, v. 20, p. 872–882, 2017b. DOI: 10.1111/ele.12781.

FAHEY, C.; CHOI, D.; WANG, J.; DOMKE, G. M.; EDWARDS, J. D.; FEI, S.; PARKER, J. D. Canopy complexity drives positive effects of tree diversity on productivity in two tree diversity experiments. *Ecology*, v. 106, e4500, 2025. DOI: 10.1002/ecy.4500.

FAGUNDES, M. V.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA, R. S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 5, 930099, 2022. DOI: 10.3389/ffgc.2022.930099.

FALSTER, D. S.; et al. How functional traits influence plant growth and shade tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 115, n. 39, p. 9722–9727, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1714044115

FRAGOSO, R. O.; TEMPONI, L. G.; PEREIRA, D. C.; GUIMARÃES, A. T. B. Recuperação de área degradada no domínio floresta estacional semideciduosa sob diferentes tratamentos. *Ciência Florestal*, v. 26, p. 699–711, 2016. DOI: 10.5902/1980509824194.

FREITAS, G. V.; DA CUNHA, M.; VITÓRIA, A. P. A systematic review of leaf and wood traits in the Neotropics: environmental gradients and functionality. *Trees*, v. 38, p. 551–572, 2024. DOI: 10.1007/s00468-024-02508-7.

GARNIER, E.; SHIPLEY, B.; ROUMET, C.; LAURENT, G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, v. 15, p. 688–695, 2001. DOI: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x.

GERBER, D.; BECHARA, F. C.; TOPANOTTI, L. R.; NICOLETTI, M. F.; AZEVEDO, J. C. Evaluating tree survival and modeling initial growth for Atlantic Forest restoration. *Ciência Rural*, v. 53, e20220066, 2023. DOI: 10.1590/0103-8478cr20220066.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, v. 148, p. 185–206, 2001. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00535-1.

GUIMARÃES, L. A. O. P.; ASSIS, I. R.; DIAS, L. E.; CORDEIRO, A. L.; FREIRE, A. S. Espécies arbóreas potenciais para a revegetação de rejeito salino contaminado com arsênio. *Ciência Florestal*, v. 27, p. 871–881, 2017. DOI: 10.5902/1980509828637.

GUIMARÃES, P. J. F.; MARTINS, A. B. *Tibouchina* sect. *Pleroma* (D. Don Cogn.) (Melastomataceae) no estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Botany*, v. 20, p. 11–33, 1997. DOI: 10.1590/S0100-84041997000100002.

HALLETT, L. M.; AOYAMA, L.; BARABÁS, G. et al. Restoration ecology through the lens of coexistence theory. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 38, p. 1085–1096, 2023. DOI: 10.1016/j.tree.2023.06.004.

HENN, J. J.; YELENIK, S.; DAMSHEN, E. I. Environmental gradients influence differences in leaf functional traits between native and non-native plants. *Oecologia*, v. 191, p. 397–409, 2019. DOI: 10.1007/s00442-019-04498-7.

HODGSON, J. G.; MONTSERRAT-MARTÍ, G.; CHARLES, M. et al. Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? *Annals of Botany*, v. 108, p. 1337–1345, 2011. DOI: 10.1093/aob/mcr225.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? *Restoration Ecology*, v. 19, p. 277–279, 2011. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2011.00783.x.

HOLL, K. D. Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *Journal of Applied Ecology*, v. 54, p. 1091–1099, 2017. DOI: 10.1111/1365-2664.12814.

HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, v. 6, p. 65–70, 1979. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/4615733>

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining. R package, versão 1.41, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=FactoMineR>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP): dados de precipitação e temperatura diária de Juiz de Fora (MG), 1961–2014. Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package, versão 1.0.7, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=factoextra>

KUNSTLER, G.; FALSTER, D.; COOMES, D. A.; HUI, F.; KOOYMAN, R. M.; LAUGHLIN, D. C.; POORTER, L.; VANDERWEL, M.; VIEILLENDENT, G.; WRIGHT, S. J.; AIBA, M.; BARALOTO, C.; CASPERSEN, J.; CORNELISSEN, J. H. C.; GOURLET-FLEURY, S.; HANEWINKEL, M.; HÉRAULT, B.; KATTGE, J.; KUROKAWA, H.; PEÑUELAS, J.; POORTER, H.; RICHARDSON, S.; RUIZ-BENITO, P.; SUN, I.-F.; STAHL, G.; SWENSON, N. G.; THOMPSON, J.; URIARTE, M.; VALLADARES, F.; YAMAKURA, T.; ZIMMERMAN, J. K.; ZIMMERMANN, N. E.; WESTOBY, M. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*, v. 529, p. 204–207, 2016. DOI: 10.1038/nature16476.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, v. 16, p. 545–556, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x.

LIMA, P. A. F.; GATTO, A.; ALBUQUERQUE, L. B.; MALAQUIAS, J. V.; AQUINO, F. G. Crescimento de mudas de espécies nativas na restauração ecológica de matas ripárias. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 11, p. 72–79, 2016. DOI: 10.4013/nbc.2016.112.03.

LIU, X.; HUANG, Y.; CHEN, L. et al. Species richness, functional traits and climate interactively affect tree survival in a large forest biodiversity experiment. *Journal of Ecology*, v. 110, p. 2522–2531, 2022. DOI: 10.1111/1365-2745.13970.

LOBO, T. F.; OLIVEIRA, F. C.; MORGADO, B. T.; SIQUEIRA, M. V. B. M. Diferentes misturas de substratos com lodo de esgoto compostado enriquecido e substrato comercial em quaresmeira. *Frontiers Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 7, p. 326–340, 2018. DOI: 10.21664/2238-8869.2018v7i1.p326-340.

LOBREGAT, G.; PERILLI, M. L. L.; NEVES, F. S.; CAMPOS, R. I. Fluctuating asymmetry, leaf thickness and herbivory in *Tibouchina granulosa*: an altitudinal gradient analysis. *Arthropod-Plant Interactions*, v. 12, p. 277–282, 2018. DOI: 10.1007/s11829-017-9568-7.

LOHBECK, M.; LEBRIJA-TREJOS, E.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; MEAVE, J. A.; POORTER, L.; BONGERS, F. Functional trait strategies of trees in dry and wet tropical forests are similar but differ in their consequences for succession. *PLoS ONE*, v. 10, e0123741, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0123741.

LOPES, K. S.; MARQUES, A. A. M.; MORENO, K. G. T. et al. Small conductance calcium-activated potassium channels and nitric oxide/cGMP pathway mediate cardioprotective effects of *Croton urucurana* Baill. in hypertensive rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 293, 115255, 2022. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115255.

LOUREIRO, N.; SANSEVERO, J. Intraspecific variation of leaf traits in tree plantings of different ages in a tropical forest. *Flora*, v. 325, 152700, 2025. DOI: 10.1016/j.flora.2025.152700.

MAGNAGO, L. F. S.; EDWARDS, D. P.; EDWARDS, F. A.; MAGRACH, A.; MARTINS, S. V.; LAURANCE, W. F. Functional attributes change but functional richness is unchanged after fragmentation of Brazilian Atlantic forests. *Journal of Ecology*, v. 102, p. 475–485, 2014. DOI: 10.1111/1365-2745.12206.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, v. 51, p. 659–668, 2000. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659.

MAYNARD, D. S.; BIALIC-MURPHY, L.; ZOHNER, C. M. et al. Global relationships in tree functional traits. *Nature Communications*, v. 13, 3185, 2022. DOI: 10.1038/s41467-022-30888-2.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, p. 3983–3998, 2013. DOI: 10.1093/jxb/ert208.

MUSCARELLA, R.; URIARTE, M.; AIDE, T. M.; ERICKSON, D. L.; FORERO-MONTAÑA, J.; KRESS, W. J.; SWENSON, N. G.; ZIMMERMAN, J. K. Functional convergence and phylogenetic divergence during secondary succession of subtropical wet forests in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science*, v. 27, p. 283–294, 2016. DOI: 10.1111/jvs.12354.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853–858, 2000. DOI: 10.1038/35002501.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1633–1644, 2007.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v. 61, p. 167–234, 2013. DOI: 10.1071/BT12225.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E. et al. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v. 64, p. 715–716, 2016. DOI: 10.1071/BT12225_CO.

PIRES, M. M. Y.; SOUZA, L. A.; TERADA, Y. Biologia floral de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) ocorrente em vegetação ripária da ilha Porto Rico, Porto Rico, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 26, p. 209–215, 2004. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v26i2.1638.

POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; VILLAR, R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, v. 182, p. 565–588, 2009. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x.

POORTER, L.; ROZENDAAL, D. M. A.; BONGERS, F. et al. Functional recovery of secondary tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 118, e2003405118, 2021. DOI: 10.1073/pnas.2003405118.

RAY, T.; FICHTNER, A.; KUNZ, M.; PROß, T.; BRADLER, P. M.; BRUELHEIDE, H.; GEORGI, L.; HAIDER, S.; HILDEBRAND, M.; POTVIN, C.; SCHNABEL, F.; TROGISCH, S.; VON OHEIMB, G. Diversity-enhanced canopy space occupation and leaf functional diversity jointly promote overyielding in tropical tree communities. *Science of the Total Environment*, v. 951, 175438, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175438.

REICH, P. B. The world-wide “fast–slow” plant economics spectrum: a traits manifesto. *Journal of Ecology*, v. 102, p. 275–301, 2014. DOI: 10.1111/1365-2745.12211.

REIS, J. S.; SILVA, J. L. A.; RIBEIRO, D. R.; FREITAS, G. V.; COUTO-SANTOS, A. P. L.; FUNCH, L. S.; VITÓRIA, A. P. Phenological seasonality and contribution of inter- and intraspecific variation to relationships with morpho-biochemical traits in seasonal Atlantic forests. *Flora*, v. 331, 152819, 2025. DOI: 10.1016/j.flora.2025.152819.

RILKE, Rainer Maria. *Cartas a um jovem poeta*. Tradução de Pedro Süsskind. São Paulo: Editora Globo, 2001.

SÁNCHEZ-BERMEJO, P. C.; CARMONA, C. P.; SCHUMAN, M. C.; BENAVIDES, R.; SACHSENMAIER, L.; LI, S.; LIU, X.; HAIDER, S. Intraspecific and intraindividual trait variability decrease with tree species richness in a subtropical tree biodiversity experiment. *bioRxiv*, 2024. DOI: 10.1101/2024.11.24.625116.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, v. 9, p. 671–675, 2012. DOI: 10.1038/nmeth.2089.

SILVA, P. M.; MOREIRA, J. W.; BARREIRA, S. Maturidade fisiológica e morfológica de sementes de quaresmeira (*Tibouchina granulosa* Cogn.). *Enciclopédia Biosfera*, v. 19, p. 169–182, 2022. DOI: 10.18677/EnciBio_2022C20.

SILVA, S. C. S.; ALVES, M. A.; SOUSA, S. A.; NOGUEIRA, J. R. S.; MARTINS, D. H. N.; FONSECA BAZZO, Y. M.; GALDOS RIVEROS, A. C. Perfil fitoquímico, susceptibilidade antibacteriana e capacidade antioxidante das folhas de *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae). *Infarma – Ciências Farmacêuticas*, v. 29, p. 264–270, 2017. DOI: 10.14450/2318-9312.v29.e3.a2017.pp264-270.

SILVA, J. L. A.; REIS, J. S.; MUREB, L. S.; VITÓRIA, A. P. Forest age strongly influences the functional trajectories of reintroduced vascular epiphytes over time. *Forest Ecology and Management*, v. 582, 122552, 2025. DOI: 10.1016/j.foreco.2025.122552.

SUDING, K. N.; LAVOREL, S.; CHAPIN, F. S. III; CORNELISSEN, J. H. C.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; GOLDBERG, D.; HOOPER, D. U.; JACKSON, S. T.; NAVAS, M.-L. Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology*, v. 14, p. 1125–1140, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01557.x.

STAPLES, T. L.; DWYER, J. M.; ENGLAND, J. R.; MAYFIELD, M. M. Productivity does not correlate with species and functional diversity in Australian reforestation plantings across a wide climate gradient. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, p. 1250–1263, 2019. DOI: 10.1111/geb.12962.

TILMAN, D. Resource-ratio hypothesis of plant succession. *Journal of Theoretical Biology*, v. 108, p. 275-301, 1985.

VILLA, P. M.; MARTINS, S. V.; PILOCELLI, A.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Attributes of stand-age-dependent forest determine technosol fertility of Atlantic forest re-growing on mining tailings in Mariana, Brazil. *Journal of Forest Research*, v. 33, p. 103–116, 2022. DOI: 10.1007/s11676-021-01359-z.

VITÓRIA, A. P.; ALVES, L. F.; SANTIAGO, L. S. Atlantic Forest and leaf traits: an overview. *Trees*, v. 33, p. 1535–1547, 2019. DOI: 10.1007/s00468-019-01864-z.

VOLLE, C. The return of the variance: intraspecific variability in community ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 27, p. 244–252, 2012. DOI: 10.1016/j.tree.2011.11.014.

WESTERBAND, A. C.; FUNK, J. L.; BARTON, K. E. Intraspecific trait variation in plants: a renewed focus on its role in ecological processes. *Annals of Botany*, v. 127, p. 397–410, 2021. DOI: 10.1093/aob/mcab011.

WRIGHT, I. J.; REICH, P. B.; WESTOBY, M. et al. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, v. 428, p. 821–827, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15103368/>

YACHI, S.; LOREAU, M. Does complementary resource use enhance ecosystem functioning? A model of light competition in plant communities. *Ecology Letters*, v. 10, p. 54–62, 2007. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2006.00994.x.

YAN, K.; SHAO, H.; SHAO, C.; CHEN, P.; ZHAO, S.; BRESTIC, M.; CHEN, X. Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 35, p. 2867–2878, 2013. DOI: 10.1007/s11738-013-1325-7.

ZELDIN, J.; LICHTENBERGER, T. M.; FOXX, A. J.; WILLIAMS, E. W.; KRAMER, A. T. Intraspecific functional trait structure of restoration-relevant species: implications for restoration seed sourcing. *Journal of Applied Ecology*, v. 57, p. 864–874, 2020. DOI: 10.1111/1365-2664.13603.

8 APÊNDICE A – Material suplementar

Tabela A 1- Os testes de Kruskal–Wallis foram realizados separadamente para *Croton urucurana* (C) e *Pleroma granulosum* (P) a fim de avaliar se seis traços funcionais (peso fresco (FW), SLA, peso seco foliar (Dry mass), Fv/Fm, área foliar (LA) e LDMC) variam entre os tratamentos de riqueza (1, 3 e 6 espécies). A tabela apresenta os valores de χ^2 (qui-quadrado), os graus de liberdade (gl) e os valores de p.

Kruskal Wallis test: traits ~ richness

<i>Croton urucurana (C)</i>			
traços	chi-squared	df	p-value
FW	3.75	2	0.1534
SLA	3.15	2	0.207
Dry mass	2.683 3	2	0.2614
Fv/Fm	3.780 2	2	0.1511
LA	2.625	2	0.2691
LDMC	3.6	2	0.1653

<i>Pleroma granulosum (P)</i>			
traços	chi-squared	df	p-value
FW	4.725	2	0.09418
SLA	1.066 7	2	0.5866
Dry mass	2.733 3	2	0.255

Fv/Fm	1.371	2	0.
	4		5037
LA	5.125	2	0.
			07711
LMDC	1.333	2	0.
	3		5134

Fonte: O autor (2026)

Tabela A 2- Resultados dos modelos lineares mistos avaliando como a riqueza de espécies e a identidade das espécies influenciam os traços funcionais individuais. Cada traço foi modelado em função da riqueza de espécies e da identidade das espécies, com o bloco incluído como intercepto aleatório. Para cada variável resposta (SLA, peso fresco (FW), área foliar, LDMC, peso seco foliar (Dry mass) e Fv/Fm), a tabela apresenta as estimativas dos efeitos fixos, os valores de z, a variância atribuída ao efeito aleatório de bloco (ICC) e os respectivos valores de p.

Modelo 1: traço ~ riqueza + espécie + (1 Bloco)				
	SLA			
	Esti mate	z value	Pr(> z)	
Intercept	5.00 043	1 47.22	<2e -16 ***	
richness3	0.34 856	2 0.00	<2e -16 ***	
richness6	0.34 194	1 6.82	<2e -16 ***	
Specie P	- 0.69081	4 0.13	<2e -16 ***	
ICC (Bloco)			0.0 01	
Dispersion model			~sp ecies	
Standard deviation (Bloco)			0.0 6	
<i>Peso fresco</i>				

		<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>
		<i>mate</i>	<i>value</i>	$ z)$
<i>Intercept</i>		0.68	2	<
		658	6.125	2e-16 ***
richness3		0.06	2.	0.0
		514	508	122 *
richness6		0.12	4.	2.7
		799	194	4e-05 ***
Specie P		-	-	<
		0.19111	9.902	2e-16 ***
ICC (Bloco, link scale)				0.0
Dispersion				05
Standard deviation (Bloco)				con
				stant
				0.0
				3
<i>LA</i>				
		<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>
		<i>mate</i>	<i>value</i>	$ z)$
<i>Intercept</i>		4.59	1	<
		963	29.28	2e-16 ***
richness3		0.15	5.	2.6
		776	15	4e-07 ***
richness6		0.25	7.	7.0
		695	18	1e-13 ***
Specie P		-	-	<
		0.68125	28.48	2e-16 ***
ICC (Bloco, link scale)				0.0
Dispersion				00
Standard deviation (Bloco)				~sp
				ecies
				0.0
				5
<i>Dry Mass</i>				

	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(> z)</i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	
<i>Intercept</i>	-	-	<
	0.444769	13.109	2e-16 ***
richness3	-	-	0.0
	0.086917	3.582	00341 ***
richness6	-	-	0.9
	0.003019	0.105	16375
Specie P	0.02	1.	0.2
	3775	160	46205
ICC (Bloco, link scale)			0.0
Dispersion			00
Standard deviation (Bloco)			0.0

	<i>Fv/Fm</i>		
	<i>Esti</i>	<i>St</i>	<i>t</i>
	<i>mate</i>	<i>d. Error</i>	<i>value</i>
<i>Intercept</i>	1.22	0.	18.
	574	06514	816
richness3	-	0.	-
	0.13128	01507	8.713
richness6	-	0.	-
	0.12622	01805	6.991
Specie P	-	0.	-
	0.09103	01187	7.666
ICC (Bloco)			0.1
Standard deviation (Bloco)			0.1

	<i>Height</i>			
	<i>Value</i>	<i>DF</i>	<i>t-value</i>	<i>p-value</i>
	<i>e</i>			

	0.76	445	1	0.0
Intercept	33957		0.227287	000
richness3	-	445	-	0.0
	0.1153028		2.162079	311
richness6	-	445	-	0.5
	0.0358422		0.569436	693
Specie P	-	445	-	0.0
	0.4735768		11.34346	000
			6	
ICC (Bloco)				0.0
Dispersion				7
Standard deviation (Bloco)				Spe cies dependent 0.4 5
<i>LDMC</i>				
	<i>Esti</i> <i>mate</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i> <i> z)</i>	
Intercept	5.76	3	<2e	
	8405	72.9	-16 ***	
richness3	-	-	<2e	
	0.136239	18.2	-16 ***	
richness6	-	-	<2e	
	0.122822	13.9	-16 ***	
Specie P	0.22	3	<2e	
	7148	9.8	-16 ***	
ICC (Bloco)				0.0 4
Standard deviation (Bloco)				0.0 2

Fonte: O autor (2026)

Tabela A 3- Resultados dos modelos lineares mistos avaliando a covariação par a par entre traços funcionais. Cada modelo relaciona um traço a um segundo traço, controlando a riqueza de espécies e a identidade das espécies, com o bloco incluído como intercepto aleatório. A tabela apresenta, para cada par de traços avaliado, as estimativas dos efeitos fixos, os valores de z, a variância atribuída ao efeito aleatório de bloco (ICC) e os respectivos valores de p.

Model 2: traço 1 ~ traço 2 + especie + riqueza + (1|Bloco)

<i>Fv/Fm ~ SLA</i>			
	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(> z)</i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	
<i>Intercept</i>	1.32	1	<2e
	02365	9.483	-16 ***
SLA	-	-	0.0
	0.0007907	2.747	0601 **
Specie P	-	-	2.5
	0.1763715	5.153	6e-07 ***
richness3	-	-	0.0
	0.0677484	2.524	1160 *
richness6	-	-	0.0
	0.0624688	1.960	5002
ICC (Bloco)			0.0
			04
Residual structure			Spe
			cies
Standard deviation (Bloco)			dependent
			0.0
			9

Height ~ SLA

<i>Height ~ SLA</i>			
	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(> z)</i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	
<i>Intercept</i>	0.98	1	<
	320	3.871	2e-16 ***

bs(SLA_z, df = 3)1	-	-	-	1.1
	0.50132	4.387	5e-05 ***	
bs(SLA_z, df = 3)2	0.08	0.	0.5	
	542	547	847	
bs(SLA_z, df = 3)3	-	-	-	0.0
	0.47576	2.253	242 *	
Specie P	-	-	-	<
	0.54223	23.621	2e-16 ***	
richness3	-	-	-	1.2
	0.09537	4.365	7e-05 ***	
richness6	-	-	-	0.6
	0.01170	0.456	482	
ICC (Bloco)				0.0
				05
				Spe
Residual structure				ties
				dependent
Standard deviation				0.1
				1
<i>LA ~ Dry Mass</i>				
	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>	
	<i>mate</i>	<i>value</i>	<i> z </i>)	
Intercept	4.89	1	<2e	
	210	24.22	-16 ***	
log(dry_mass)	0.86	7	<2e	
	882	5.34	-16 ***	
Specie P	-	-	-	<2e
	0.78843	43.65	-16 ***	
richness3	0.34	2	<2e	
	975	0.49	-16 ***	
richness6	0.34	1	<2e	
	772	7.40	-16 ***	
ICC (Bloco)				0.0
				02

	Spe cies
Residual structure	
Standard deviation	0.0 7

Fv/Fm ~ LDMC

	<i>Esti</i> <i>mate</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i> <i> z)</i>
<i>Intercept</i>	1.14 975	2 0.293	< 2e-16 ***
bs(LDMC_z, df = 3)1	0.13 072	0. 917	0.3 59
bs(LDMC_z, df = 3)2	- 0.09147	- 0.471	0.6 37
bs(LDMC_z, df = 3)3	0.02 939	0. 151	0.8 80
Specie P	- 0.08705	- 5.940	2.8 5e-09 ***
richness3	- 0.07897	- 5.102	3.3 5e-07 ***
richness6	- 0.07109	- 3.981	6.8 6e-05 ***
ICC (Bloco, link scale)			0.0 02

	Spe cies
Dispersion	
Standard deviation	0.0 8

Height ~ LDMC

	<i>Esti</i> <i>mate</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i> <i> z)</i>
--	----------------------------	----------	-------------------------------

	Esti	z	Pr(> z)
	mate	value	
Intercept	0.60 043	7. 561	4e- 14 ***
bs(LDMC_z, df = 3)1	0.33 040	1. 626	0.1 0392
bs(LDMC_z, df = 3)2	0.95 117	3. 126	0.0 0177 **
bs(LDMC_z, df = 3)3	0.24 958	0. 771	0.4 4089
Specie P	-	-	<
	0.57469	28.051	2e-16 ***
richness3	-	-	0.0
	0.04647	2.128	3332 *
richness6	0.02 341	0. 925	0.3 5480
ICC (Bloco)			0.0 07
Residual structure			Spe cies dependent
Standard deviation			0.1 2

LA ~ LMDC

	Esti	z	Pr(> z)
	mate	value	
Intercept	4.50 227	5 1.57	< 2e-16 ***
bs(LDMC_z, df = 3)1	-	-	0.2
	0.36780	1.13	59
bs(LDMC_z, df = 3)2	0.48 468	0. 98	0.3 29
bs(LDMC_z, df = 3)3	0.84 749	1. 59	0.1 11
Specie P	-	-	<
	0.69659	21.10	2e-16 ***

richness3	0.16	4.	3.6
	200	63	4e-06 ***
richness6	0.28	7.	3.7
	409	26	4e-13 ***
ICC (Bloco)			0.0
		00	
Residual structure			Spe
			cies
Standard deviation			dependent
			0.0
		5	

Fv/Fm ~ LA (with variation for the species)

	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	<i> z </i>
<i>Intercept</i>	1.18	2	<
	7768	6.671	2e-16 ***
LA_z	-	-	0.0
	0.012414	1.828	676
Species P	-	-	2.2
	0.093327	7.332	7e-13 ***
richness3	-	-	3.2
	0.078732	5.526	8e-08 ***
richness6	-	-	2.0
	0.073071	4.256	8e-05 ***
ICC (Bloco, link scale)			0.0
		02	
Dispersion			Spe
			cies
Standard deviation			dependent
		8	0.0

Fv/Fm ~ Dry Mass

	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	$ z $
<i>Intercept</i>	1.51	9.	<
	756	865	2e-16 ***
	-	-	0.0
bs(log_dm_z, df = 3)1	0.72095	2.647	0811 **
	-	-	0.0
bs(log_dm_z, df = 3)2	0.17901	1.694	9032
	-	-	0.1
bs(log_dm_z, df = 3)3	0.28942	1.606	0826
	-	-	5.3
Specie P	0.08905	7.818	5e-15 ***
	-	-	3.8
richness3	0.07220	5.077	4e-07 ***
	-	-	5.1
richness6	0.07707	4.558	7e-06 ***
			0.0
ICC (Bloco, link scale)			02
			Spe
Dispersion			cies
			dependent
Standard deviation			0.0
			9

Height ~ Dry Mass

	<i>Esti</i>	<i>z</i>	<i>Pr(></i>
	<i>mate</i>	<i>value</i>	$ z $
<i>Intercept</i>	0.77	3.	6.7
	441	99	0e-05 ***
	-	-	0.0
bs(log_dm_z, df = 3)1	0.80796	2.36	184 *
	-	-	0.0
bs(log_dm_z, df = 3)2	0.65	4.	1.7
	876	78	5e-06 ***
	-	-	0.4
bs(log_dm_z, df = 3)3	0.18256	0.81	184

				<
Specie P		-	-	
	0.50221	32.12	2e-16 ***	
richness3		-	-	1.0
	0.09704	4.89	3e-06 ***	
richness6		-	-	0.2
	0.02665	1.12	622	
ICC (Bloco)				0.0
Residual structure				06
Standard deviation				Spe cies dependent 0.1 1

LDMC ~ SLA				
	Esti mate	z	Pr(> z)	
Intercept	5.80	4	<2e	
	4817	18.0	-16 ***	
SLA_z	-	-	<2e	
	0.087681	23.4	-16 ***	
Specie P	0.11	1	<2e	
	4143	5.9	-16 ***	
richness3	-	-	<2e	
	0.092948	12.9	-16 ***	
richness6	-	-	<2e	
	0.078176	9.4	-16 ***	
ICC (Bloco, link scale)				0.0
Dispersion				4
Standard deviation				Con stant 0.0 2

Fonte: O autor (2026)

Figura A 1- Cargas (correlações) dos traços funcionais com os componentes principais da PCA. Os valores representam a correlação entre cada traço e os eixos da PCA (Dim.1–Dim.5), em que cargas positivas e negativas indicam a direção e a intensidade da contribuição de cada traço para a variação multivariada. Os traços incluem peso fresco (FW), área foliar (LA), área foliar específica (SLA), peso seco foliar (Dry mass), Fv/Fm, altura e conteúdo de matéria seca foliar (LDMC). Essas cargas correspondem aos coeficientes dos autovetores utilizados para gerar o *biplot* da PCA apresentado no texto principal.

```
> iris.pca$var$coord
            Dim.1      Dim.2      Dim.3      Dim.4      Dim.5
fresh_weight  0.8999103  0.35684195 -0.05204323 -0.03268856 -0.20675462
LA            0.9549220 -0.07665276 -0.10536856 -0.06815117  0.19610474
SLA           0.4806293 -0.78731557 -0.09159273 -0.09581305  0.34173499
dry_mass      0.7188790  0.67327019  0.01920564  0.05884701 -0.01738167
Fv.Fm         0.0855051  0.01209115  0.87192359 -0.48166818  0.01668325
height        0.2701443 -0.34031339  0.51703590  0.73616409 -0.04328158
LDMC          -0.3250663  0.80790059  0.11246820  0.18286414  0.43895934
```

Figura A 2- Coeficientes de variação (CV, %) de seis traços funcionais medidos em *Croton urucurana* e *Pleroma granulosum* ao longo dos níveis de riqueza de espécies (1, 3 e 6 espécies). O tamanho dos círculos representa o CV mediano dentro de cada tratamento de riqueza. Os traços incluem área foliar específica (SLA, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC, mg g^{-1}), área foliar (LA, cm^2), peso

fresco (FW, g), eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) e peso seco foliar (g).

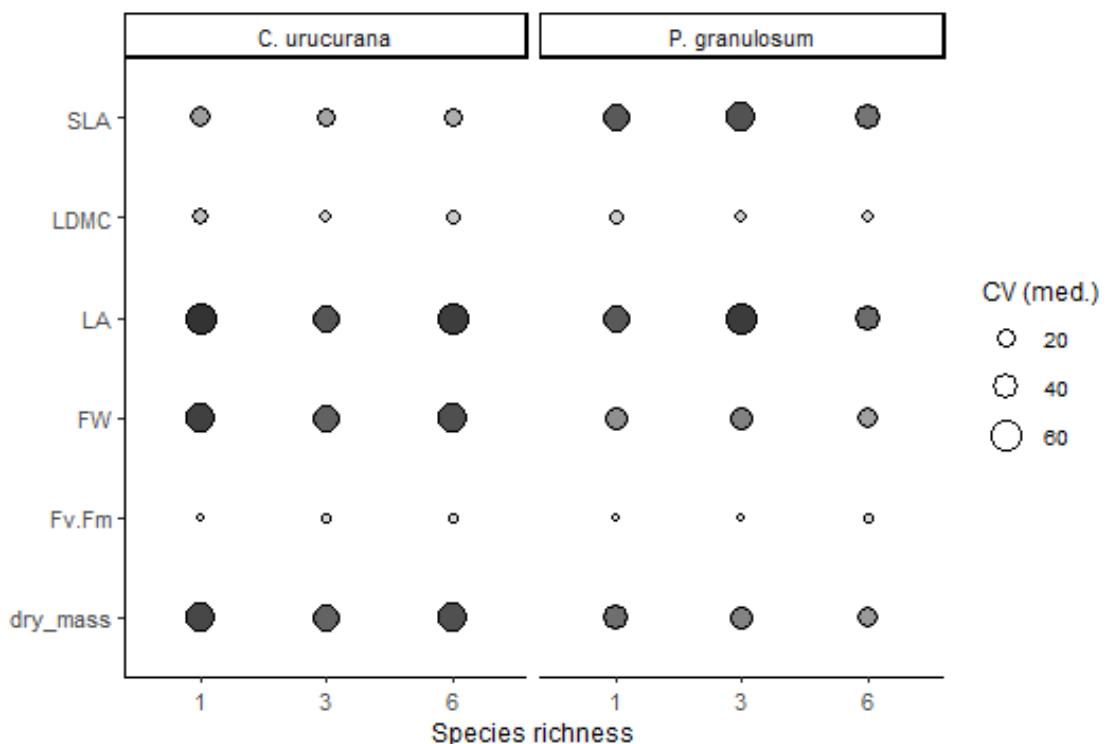


Figura A 3- Os painéis apresentam as relações entre: a. altura da planta e conteúdo de matéria seca foliar (LDMC); b. área foliar (LA) e LDMC; e c. rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) e LA. Os pontos representam indivíduos dentro de cada nível de riqueza. As linhas indicam os ajustes dos modelos traço-traço para cada espécie, com áreas sombreadas representando intervalos de confiança de

95%. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de riqueza em relação à riqueza 1 (contrastos baseados em modelo, $p < 0,05$).

