



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Departamento de Ciências Ambientais
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL
Rod. Washington Luís, Km. 235 – Cx. Postal. 676
CEP: 13565-905 – São Carlos – SP – Fone: (016) 3351-9776



PROJETO DE PESQUISA - MONOGRAFIA II

Título do trabalho: Plasticidade fenotípica de oito espécies arbóreas nativas em resposta à adição de nutrientes no solo.

Título em inglês: Phenotypic plasticity of eight native tree species in response to nutrient addition to the soil.

Aluno: Mayara de Lima Prates

Orientador: Andrea Lúcia Teixeira de Souza

SÃO CARLOS - SP
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE OITO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS EM RESPOSTA À
ADIÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO**

Nome do Aluno: Mayara de Lima Prates

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

Orientador: Andrea Lúcia Teixeira de Souza

**SÃO CARLOS-SP
2024**

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE OITO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS EM RESPOSTA À
ADIÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO**

Mayara de Lima Prates

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 15 de fevereiro de 2024 ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

.....
Andrea Lúcia Teixeira de Souza

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe, Geusy, e minha avó, Diometríz, por terem sempre acreditado em mim, me dando condições para poder estudar e lutado para que eu pudesse seguir os meus sonhos.

Ao meu avô, Antônio, que me trouxe o amor pela natureza e pelo conhecimento, sinto sua falta.

A minha orientadora, prof. Dr^a Andrea Lúcia Teixeira de Souza, pela oportunidade, pela paciência ao me ensinar as mais diversas coisas, pelas conversas e principalmente pela amizade.

Ao meu namorado, Gustavo, pela compreensão, amor, carinho e apoio quando penso em desistir.

Ao curso de Gestão e Análise Ambiental, onde aprendi que a ciência e a humildade podem andar lado a lado.

À educação superior pública, principalmente a UFSCar, que me proporcionou experiências e aprendizados essenciais no meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO: O desmatamento é um desafio ambiental significativo e que impulsiona esforços de restauração de ecossistemas degradados. A complexidade dos ecossistemas florestais, com fatores abióticos e bióticos, destaca a importância de entender as respostas de espécies arbóreas em áreas degradadas. A aplicação de adubação como prática de manejo prévio do solo pode ser uma estratégia eficaz, exercendo forte influência no crescimento de plantas reintroduzidas em projetos de restauração, enquanto a compreensão dos atributos funcionais das plantas ao longo do desenvolvimento contribui para esclarecer processos ecológicos, como interações entre espécies e dinâmica de comunidades. Este estudo avaliou o desenvolvimento de oito espécies arbóreas nativas em resposta a diferentes níveis de adição de nutrientes no solo, sendo eles: sem adição de nutrientes (CT); adição de 25 g de calcário e 2 g de NPK (10–10–10) (QuB); adição de 25 g de calcário e 20 g de NPK (10–10–10) (QuA); substituição de 1/6 de solo do volume do saco por esterco bovino curtido (EsB) e substituição de 1/3 de solo do volume do saco por esterco bovino curtido (EsA), este experimento foi realizado em viveiro na Universidade Federal de São Carlos e estas análises fazem parte de um projeto mais amplo realizado em 2019. Nosso estudo mostrou que os tratamentos com adubação orgânica (EsB e EsA) foram os mais impactados positivamente pela disponibilidade de nutrientes, em especial, matéria orgânica, fósforo, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases, resultando em plantas maiores. A fração de massa de raiz também sofreu forte influência da adubação, a alocação de biomassa para as raízes foi menor em tratamentos com adubação orgânica e maior no restante dos tratamentos. No tratamento EsA foi encontrada uma relação exponencial entre a altura das plantas e o tamanho de suas sementes, sementes maiores geraram plantas menores e sementes menores plantas maiores. Compreender o solo e como ele se relaciona com os traços funcionais pode ser de grande utilidade para prever a resposta das plantas às condições ambientais em áreas degradadas onde foram reintroduzidas, auxiliando no planejamento de estratégias mais eficientes de restauração florestal e em tomadas de decisões.

Palavras-chave: Traços funcionais; Restauração florestal; Adubação de solo; Áreas degradadas.

ABSTRACT: Deforestation is a significant environmental challenge that drives efforts to restore degraded ecosystems. The complexity of forest ecosystems, with abiotic and biotic factors, highlights the importance of understanding the responses of tree species in degraded areas. The application of fertilizer as a prior soil management practice can be an effective strategy, exerting a strong influence on the growth of plants reintroduced in restoration projects, while understanding the functional attributes of plants throughout development contributes to clarifying ecological processes, such as interactions between species and community dynamics. This study evaluated the development of eight native tree species in response to different levels of nutrient addition to the soil, namely: no nutrient addition (CT); addition of 25 g of limestone and 2 g of NPK (10–10–10) (QuB); addition of 25 g of limestone and 20 g of NPK (10–10–10) (QuA); replacing 1/6 of the soil in the bag volume with tanned cattle manure (EsB) and replacing 1/3 of the soil in the bag volume with tanned cattle manure (EsA), this experiment was carried out in a nursery at the Federal University of São Carlos and these analyzes are part of a broader project carried out in 2019. Our study showed that organic fertilizer treatments (EsB and EsA) were the most positively impacted by the availability of nutrients, in particular, organic matter, phosphorus, cation exchange capacity, base summation and base saturation, resulting in larger plants. The root mass fraction was also strongly influenced by fertilization, the allocation of biomass to the roots was lower in treatments with organic fertilization and higher in the rest of the treatments. In the EsA treatment, an exponential relationship was found between the height of the plants and the size of their seeds, larger seeds generated smaller plants and smaller seeds generated larger plants. Understanding the soil and how it relates to functional traits can be very useful in predicting the response of plants to environmental conditions in degraded areas where they have been reintroduced, helping to plan more efficient forest restoration strategies and decision-making.

Keywords: Functional traits; Forest restoration; Soil fertilization; Degraded areas.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4	METODOLOGIA.....	9
4.1	Características básicas das espécies	9
4.2	Delineamento experimental.....	10
4.3	Coleta de dados	11
4.4	Análise dos dados	11
5.1	Biomassa média das oito espécies e seus tratamentos	12
5.2	Propriedades químicas do solo.....	14
5.3	Fração da massa seca radicular	14
5.4	Relação entre a massa da semente e a altura dos indivíduos	16
6	CONCLUSÕES.....	18
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

A alta taxa de desmatamento em áreas florestais é um dos maiores desafios ambientais do século XXI e têm estimulado ações de restauração de ecossistemas degradados (HOBBS E HARRIS 2001, LAUGHLIN 2014). Como a dinâmica dos ecossistemas florestais é extremamente complexa e envolve diversos fatores abióticos e bióticos, compreender as respostas de diferentes espécies arbóreas às condições ambientais de áreas degradadas pode auxiliar a tomada de decisões e contribuir para a aumentar a eficiência das ações de reintrodução de espécies vegetais em projetos de restauração.

O estudo de características funcionais de espécies vegetais tem despertado muito interesse para os ecólogos, dado a sua influência na performance das plantas em resposta às condições ambientais de áreas degradadas (SANDEL et al. 2011, ASANOK et al. 2013). As características funcionais de plantas consistem em um conjunto de características fisiológicas, morfológicas e fenológicas mensuráveis dos espécimes que são fortemente relacionados com a sobrevivência, crescimento e reprodução das plantas (VIOLLE et al. 2007). As diferenças nos atributos funcionais entre indivíduos da mesma espécie podem indicar diversas habilidades de adaptação das plantas às mudanças no ambiente (plasticidade fenotípica) (BARALOTO et al. 2005, CHATURVEDI et al. 2014, JAGER et al. 2015).

A compreensão das variações nos atributos funcionais de plantas ao longo do seu desenvolvimento e suas relações com as taxas de crescimento das plantas pode elucidar algumas questões relacionadas a vários processos ecológicos como as interações entre as espécies vegetais, disponibilidades de recursos e conseqüentemente sobre a dinâmica das comunidades em que estão inseridas (MÜLLER-LANDAU, 2010; PAINE et al., 2012; PHILIPSON et al. 2014; CADOTTE et al. 2015).

2 OBJETIVOS

Este estudo está inserido num projeto mais amplo que tinha como objetivo o monitoramento de plantas de 30 espécies ao longo do primeiro ano de desenvolvimento em campo. Especificamente nós avaliamos o desenvolvimento de oito destas espécies em resposta a diferentes níveis de adição de nutrientes no solo através de um experimento conduzido em viveiro. As espécies foram escolhidas baseada na ocorrência na região de São Carlos e que são usadas frequentemente em projetos de restauração florestal (BARBOSA et al., 2015) sendo elas: *Heliocarpus americanus* L., *Grazuma ulmifolia* Lam., *Esenbeckia febrífuga* (A. St. -Hil.), *Croton floribundus* Spreng., *Pterogyne nitens* Tul., *Colubrina glandulosa* Perk., *Inga laurina* (Sw.) Willd. e *Hymenaea courbaril* L. (Hayne) Y. T. Lee & L. Os tratamentos consistiram na adição de diferentes quantidades de nutrientes minerais ou orgânicos e

monitoramos este experimento por quatro meses. Esperávamos que diferentes quantidades de nutrientes e de matéria orgânica no solo resultasse em uma variação intraespecífica no acúmulo de biomassa final e na fração da massa radicular das plantas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algumas características funcionais mais relacionadas às condições ambientais incluem a área foliar (AF); a área foliar específica (AFE); o conteúdo de matéria seca foliar (CMSF); a espessura das folhas (EF); a fração de massa foliar (FMF) e a fração de massa da raiz (RMF), que por sua vez influenciam fortemente a taxa de crescimento relativo (PÉREZHARGUINDEGUY et al., 2013; LAUGHLIN 2014). Estudos indicam que plantas em ambientes com recursos limitados abaixo do solo direcionam maior biomassa para o crescimento de suas raízes, já locais com recursos escassos acima do solo tendem a alocar mais biomassa para as partes aéreas da planta, como ramos e folhas (HUANTE et al., 1995; WESTOBY et al., 2002; CORNELISSEN et al., 2003; GRASSEIN et al., 2010; JAGER et al., 2015;). Assim, plantas que crescem em solos menos férteis procuram alocar uma maior quantidade de biomassa para o sistema radicular, aumentando a eficiência na captação de água e nutrientes, tendendo a compensar a baixa disponibilidade de recursos abaixo do solo (BALTZER & THOMAS, 2007; GRASSEIN et al., 2010; KHAN et al., 2012; KRAMER-WALTER & LAUGHLIN, 2017, ZHAO et al., 2019).

Várias características funcionais são normalmente correlacionadas com estratégias de aquisição de recursos e conseqüentemente com a velocidade de crescimento dos indivíduos (FOROUGHBAKHCH et al. 2006). No entanto, segundo estes autores, vários dos atributos funcionais variam ao longo do desenvolvimento ontogenético das plantas, independentemente da disponibilidade de recursos acima e abaixo do solo, de maneira que a grande variação intraespecífica observada nas plantas pode ser devida às respostas das plantas a diferentes condições ambientais somada às variações esperadas decorrentes do seu desenvolvimento ontogenético.

4 METODOLOGIA

4.1 *Características básicas das espécies*

Heliocarpus americanus – (Tiliaceae): Popularmente conhecido como Algodoeiro, aqui denominada (ALG). Esta espécie possui madeira de baixa densidade, é encontrada na floresta latifoliada semidecídua da bacia do Paraná nos estados de Minas Geais, São Paulo, e norte do Paraná (LORENZI H., 1992). Suas sementes são pequenas pesando em média 4,6 mg.

Grazuma ulmifolia – (Sterculiaceae): Com madeira pouco densa o Mutambo (MTB) está presente em quase todo o Brasil, ocorre desde a Amazonia até o Paraná na floresta latifoliada semidecídua (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 12,63 mg.

Esenbeckia febrifuga – (Rutaceae): A árvore Crumarim possui madeira densa, ocorre na Mata-atlântica em altitudes mais elevadas e em matas-ciliares onde o solo é mais argiloso e fértil, está presente no estado do Rio de Janeiro, Minas Gerais até Santa Catarina (LORENZI H., 1992). As sementes pesam em média 18,38 mg.

Croton floribundus – (Euphorbiaceae): Popularmente conhecida como Capixingui, sua madeira é moderadamente densa, ocorre na floresta latifoliada semidecídua nos seguintes estados brasileiros, Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Paraná (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 39,0 mg.

Pterogyne nitens – (Caesalpinaceae): Conhecida pelo nome Amendoim-bravo possui uma madeira com densidade moderada, é encontrada principalmente na floresta latifoliada semidecídua, do nordeste ao oeste do estado de Santa Catarina (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 95,2 mg.

Colubrina glandulosa - (Rhamnaceae): De nome popular Sobrasil, é uma árvore de madeira densa, encontrada na encosta pluvial atlântica do Ceará ao Rio Grande do Sul e na floresta latifoliada semidecídua nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, prefere matas mais abertas como capoeirões (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 191,2 mg.

Inga laurina - (Leguminosae-Mimosoideae): Conhecida popularmente como Ingá-mirim, sua madeira é levemente densa, é amplamente distribuída em todo o Brasil e encontrada em quase todas as formações vegetais, prefere ambientes úmidos como Matas de várzeas (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 2000 mg.

Hymenaea courbaril – (Caesalpinaceae): A árvore Jatobá possui madeira densa e é encontrada na floresta semidecídua do norte do Paraná ao Piauí em diferentes condições de solo, alta e média fertilidade (cerradões), também é pouco exigente em relação à umidade (LORENZI H., 1992). Suas sementes pesam em média 5076,1 mg.

4.2 Delineamento experimental

No experimento foi conduzido no viveiro do DCAM (Departamento de Ciências Ambientais) localizado no campus São Carlos da Universidade Federal de São Carlos.

Preliminarmente, mudas de aproximadamente 25 cm de altura das oito espécies foram adquiridas de um viveiro comercial da região as quais haviam sido cultivadas por seis meses aproximadamente a partir de sua germinação, em tubetes de 290 cm³. As mudas foram então transplantadas para sacos plásticos de polietileno preenchidas com solo de aterro com os tratamentos de adição de diferentes quantidades nutrientes ou matéria orgânica no solo: sem adição de nutrientes (CT); adição de 25 g de calcário e 2 g de NPK (10–10–10) (QuB); adição de 25 g de calcário e 20 g de NPK (10–10–10) (QuA); substituição de 1/6 de solo do volume do saco por esterco bovino curtido (EsB) e substituição de 1/3 de solo do volume do saco por esterco bovino curtido (EsA). Cinco réplicas de cada tratamento e de cada espécie foram montadas e mantidas no viveiro a pleno sol com irrigação por aspersão três vezes ao dia por cinco minutos para cada evento de irrigação. Estas mudas também receberam água de chuva por estar em local aberto.

4.3 Coleta de dados

No dia da transposição das mudas do tubete para os sacos e ao final do experimento (quatro meses após o transplante das mudas), medimos a altura de todas as plantas. Após esta medida, as plantas foram retiradas cuidadosamente dos sacos. Parte do solo dos sacos foi retirado, e para cada tratamento separadamente as amostras foram homogeneizadas numa bandeja e cerca de 300 g foram enviadas para o laboratório de análises químicas. As plantas foram lavadas para a retirada do solo das raízes e cortadas à altura do colón. As raízes e as partes aéreas de cada planta foram colocadas separadamente em sacos de papel etiquetados e deixadas em estufa a 65°C por 72 horas para obtenção da massa seca das raízes e da biomassa seca total. A fração da massa seca das raízes foi determinada pela razão entre a massa seca da raiz pela massa seca total da planta.

4.4 Análise dos dados

Análises de Variância foram usadas para avaliar o efeito da adição de nutrientes no solo na biomassa seca total e na fração da massa seca alocada para raízes. Os dados foram checados quanto a normalidade através do teste de Shapiro Wilk e transformados quando necessários para logaritmo neperiano. No caso de significância conduzimos testes “a posterior” de Tukey para comparações múltiplas. As análises foram conduzidas usando o software OriginPro 8.0 (MAY e STEVENSON, 2009).

Para avaliar a relação entre a altura das 8 espécies de plantas nativas e suas respectivas massas de semente, foi utilizado um modelo de regressão não linear (SEBER e WILD, 2003). O modelo exponencial de primeira ordem foi com a seguinte fórmula: $y = y_0 + Ae^{-x/t}$, onde a letra “A” representa o acréscimo à assíntota (y_0) que resulta no intercepto, “t” é o raio da curvatura e “x” é a massa das sementes. O modelo foi ajustado por iteração usando o

algoritmo Levenberg – Marquardt executado no software OriginPro 8.0 (MAY e STEVENSON, 2009).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 *Biomassa média das oito espécies e seus tratamentos*

A biomassa das plantas das oito espécies mostrou variações significativas em resposta aos diferentes tratamentos de adubação, de maneira geral todas as espécies incorporaram maior quantidade de biomassa nos tratamentos de adubação orgânica. A biomassa média de *H. americanus* (ALG) e de *G. ulmifolia* (MTB) apresentou variação de até cinco vezes entre os diferentes tratamentos de adubação. Em contrapartida, a biomassa das plantas de *E. febrífuga* (CRU), *P. nitens* (AMD), *C. glandulosa* (SBS) e *I. laurina* (IGM) variou entre duas e três vezes, sendo que para *I. laurina* (IGM), essa variação foi registrada apenas no tratamento EsA. A biomassa total de *H. courbaril* (JTB) teve variação pequena em resposta aos tratamentos de adubação. Os resultados do teste de Tukey mostraram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 1).

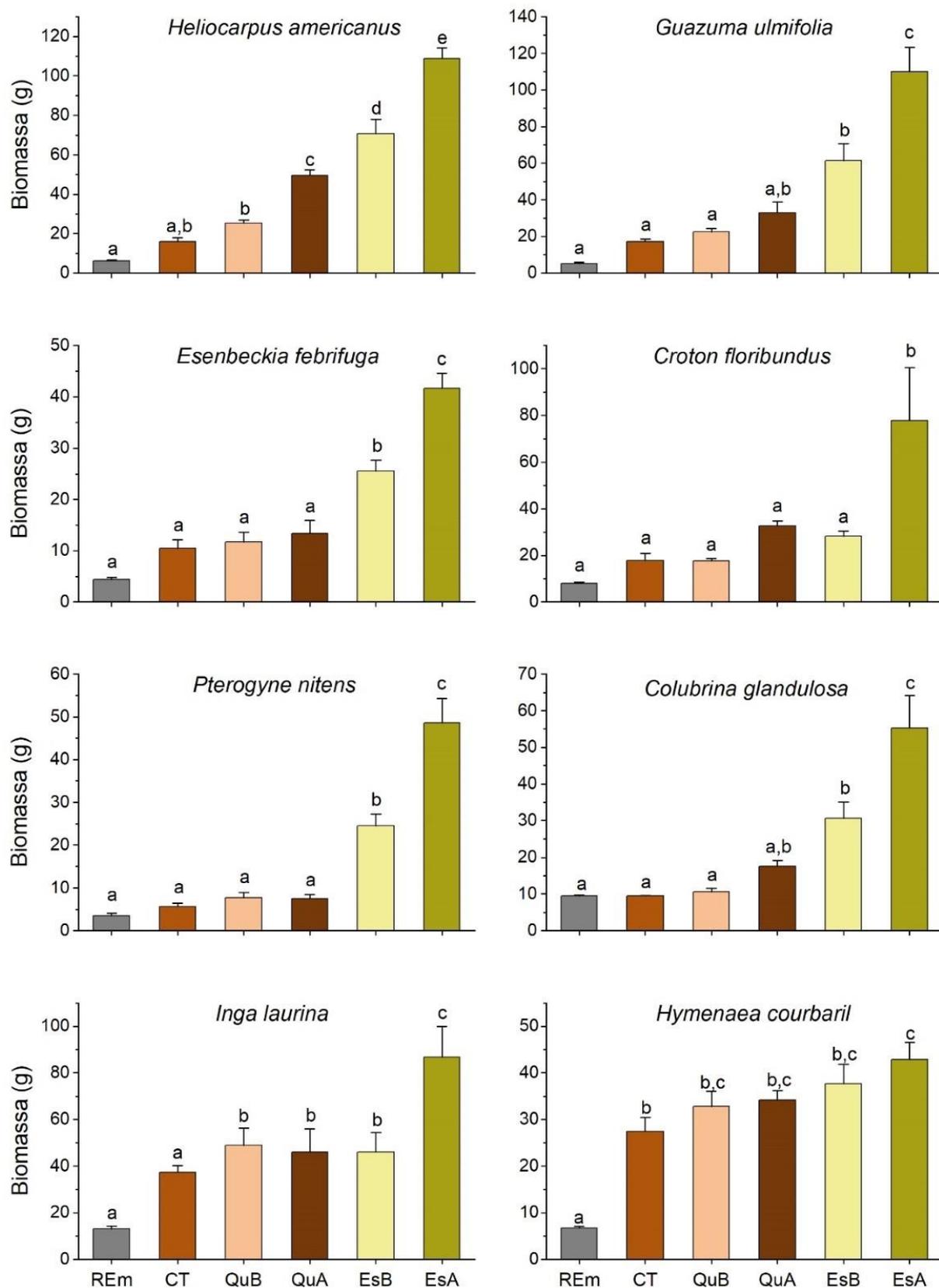


Figura 1 – Biomassa média de plantas jovens de oito espécies arbóreas nativas, recém emersas cultivadas em tubetes e em diferentes tratamentos de solo: plantas recém emersas em tubetes (Rem), Controle (CT), Químico baixo (QuB), Químico alto (QuA), Esterco baixo (EsB) e Esterco alto (EsA). As barras representam o erro padrão. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo Teste de Tukey.

5.2 Propriedades químicas do solo

Após análise das propriedades químicas do solo, fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, Soma de bases, Capacidade de troca catiônica e saturação de bases, observou-se que as diferentes adubações modificaram as características químicas do solo em comparação ao grupo CT (Controle). Nota-se que a contribuição da adubação orgânica para o aumento da soma de bases e de Matéria Orgânica e índices de CTC em comparação aos tratamentos com aditivos químicos e controle. O pH se manteve neutro em todos os tratamentos, sem variação muito significativa. O tratamento que apresentou maior aumento na quantidade de fósforo foi o QuB (Químico baixo) seguido pelo EsB (Esterco baixo). A única propriedade química do solo que apresentou diminuição em relação ao grupo controle foi o potássio, onde o menor valor observado foi no EsB. O maior valor observado de Saturação de bases foi no tratamento EsA (Esterco alto), seguido pelo QuA (Químico alto), (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados obtidos após as análises de propriedades químicas dos solos nos seis tratamentos: Controle (CT), Químico baixo (QuB), Químico alto (QuA), Esterco baixo (EsB) e Esterco alto (EsA).

PROPRIIDADE QUÍMICA	FÓSFORO (MG/DM ³)	MATÉRIA ORGÂNICA (G/DM ³)	PH	POTÁSSIO (MMOLC/DM ³)	SOMA DE BASES (MMOLC/DM ³)	CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (MMOLC/DM ³)	SATURAÇÃO DE BASES (%)
CT	36	6	7,1	0,8	29,8	41,8	71,3
QuB	57	6	7,1	0,6	28,6	40,6	70,4
QuA	134	9	7,3	0,5	36,5	46,5	78,5
EsB	84	14	7,3	0,2	39,2	50,2	78,1
EsA	58	30	7,2	0,6	57,6	69,6	82,8

5.3 Fração da massa seca radicular

A Fração de Massa de Raiz (RMF) variou entre os diferentes tratamentos de adubação. A espécie *H. americanus* teve maior alocação de biomassa nas raízes dos tratamentos QuB (Químico baixo) e REm (Recém emersas). As espécies *G. ulmifolia* e *E. febrifuga* tiveram maior alocação de raiz no grupo CT (Controle). Três espécies, *C. floribundus*, *C. glandulosa* e *I. laurina*, apresentaram maior alocação de biomassa nas raízes no grupo REm (Recém emersas). A espécie *P. nitens* alocou uma maior quantidade de biomassa para as raízes no tratamento QuA (Químico Alto) e *H. courbaril* no QuB (Químico Baixo). O tratamento onde ocorreu menor alocação, na maior parte das espécies, foi o EsA (Esterco Alto), seguido pelo Esterco Baixo em apenas cinco das oito espécies (*H. Americanus*, *G. ulmifolia*, *E. febrifuga*, *C. floribundus* e *C. glandulosa*). O tratamento REm foi o segundo menor em alocação na espécie *P. nitens*. A espécie *H. courbaril* alocou menor quantidade de biomassa para as raízes no tratamento REm (Recém emersa) e no EsA (Esterco Alto) respectivamente. Já a espécie *I. laurina* mostrou

menor alocação das raízes no tratamento EsA (Esterco Alto) e QuB (Químico Baixo) respectivamente.

Tabela 2. Fração de massa de raiz (RMF) em grama de seis tratamentos aplicados a oito espécies arbóreas nativas e resultados da ANOVA. As diferentes letras representam diferenças significativas entre as médias segundo o Teste de Tukey.

Espécie	Rem	CT	QuB	QuA	EsB	EsA
<i>Heliocarpus americanus</i>	(0.472 ± 0.017) ^a	(0.414 ± 0.031) ^{a,b}	(0.495 ± 0.026) ^a	(0.406 ± 0.020) ^{a,b}	(0.389 ± 0.026) ^{a,b}	(0.351 ± 0.024) ^b
<i>Guazuma ulmifolia</i>	(0.543 ± 0.028) ^a	(0.575 ± 0.061) ^a	(0.562 ± 0.037) ^a	(0.558 ± 0.032) ^a	(0.363 ± 0.026) ^b	(0.266 ± 0.018) ^b
<i>Esenbeckia febrifuga</i>	(0.440 ± 0.035) ^a	(0.603 ± 0.011) ^b	(0.571 ± 0.020) ^b	(0.491 ± 0.015) ^{a,b}	(0.393 ± 0.033) ^a	(0.309 ± 0.042) ^c
<i>Croton floribundus</i>	(0.639 ± 0.015) ^a	(0.551 ± 0.079) ^{a,b}	(0.553 ± 0.022) ^{a,b}	(0.472 ± 0.019) ^{b,c}	(0.433 ± 0.027) ^{b,c}	(0.360 ± 0.020) ^c
<i>Pterogyne nitens</i>	(0.552 ± 0.049) ^{b,c}	(0.753 ± 0.029) ^a	(0.747 ± 0.032) ^a	(0.755 ± 0.023) ^a	(0.601 ± 0.044) ^{a,b}	(0.411 ± 0.032) ^c
<i>Colubrina glandulosa</i>	(0.631 ± 0.011) ^a	(0.541 ± 0.011) ^a	(0.591 ± 0.027) ^{a,b}	(0.499 ± 0.008) ^b	(0.433 ± 0.058) ^b	(0.289 ± 0.021) ^c
<i>Inga laurina</i>	(0.505 ± 0.023) ^a	(0.440 ± 0.028) ^{a,b}	(0.370 ± 0.027) ^{a,b}	(0.454 ± 0.037) ^{a,b}	(0.397 ± 0.047) ^{a,b}	(0.330 ± 0.020) ^{a,b}
<i>Hymenaea courbaril</i>	(0.205 ± 0.011) ^a	(0.395 ± 0.016) ^b	(0.419 ± 0.017) ^b	(0.396 ± 0.015) ^b	(0.331 ± 0.019) ^b	(0.247 ± 0.017) ^a

5.4 Relação entre a massa da semente e a altura dos indivíduos

A altura das plantas no tratamento Esterco Alto (EsA), representado pelos círculos na cor verde, variou entre as diferentes espécies e foi grandemente afetada pelo tamanho das sementes (Figura 2). Observou-se que indivíduos de espécies com sementes pequenas como ALG, MTB e CRU apresentavam maior tamanho nesse momento, em comparação com os indivíduos de espécies com sementes maiores JTB, IGM e SBS. Em relação ao tratamento Controle (CT), representado pelos triângulos em marrom claro, os resultados não foram significativos (Figura 2).

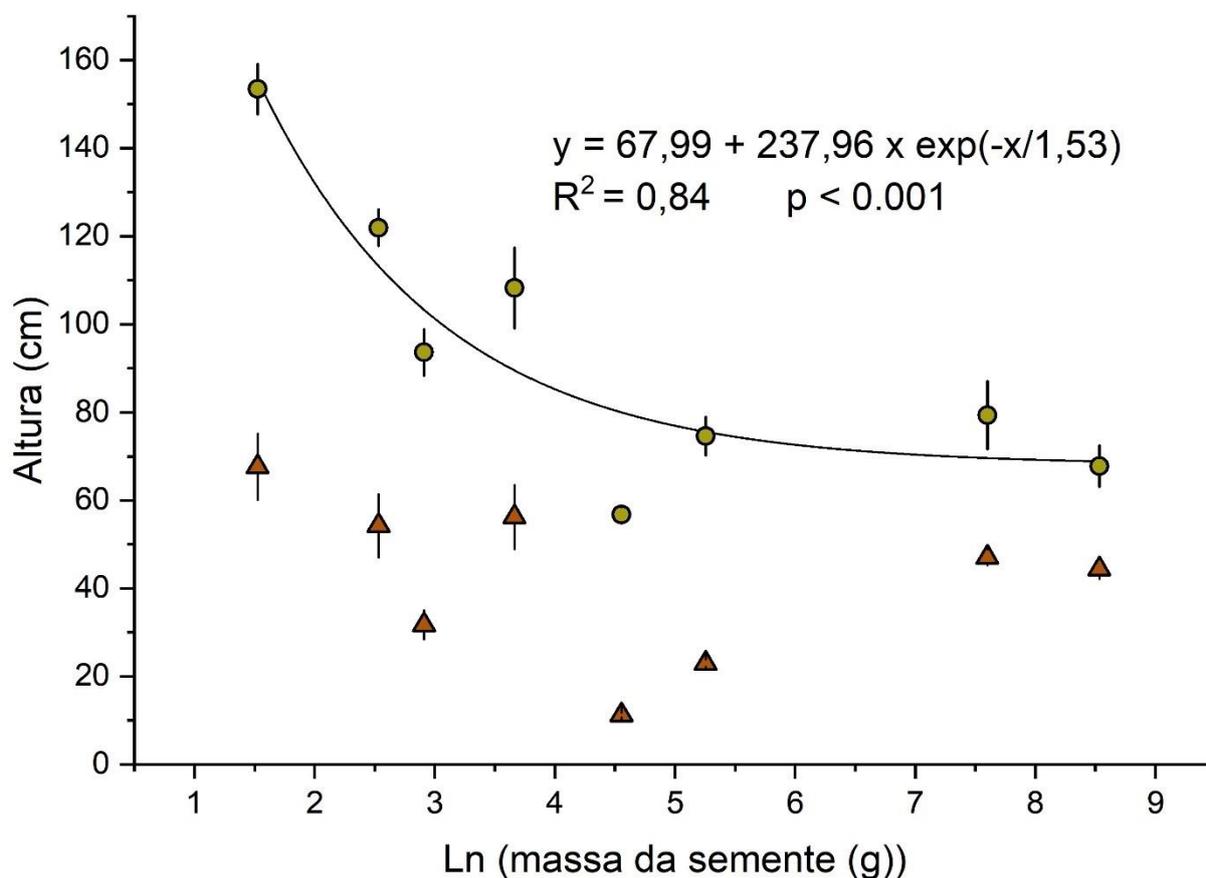


Figura 2. Relação entre a altura (cm) de oito espécies de plantas arbóreas e diferentes massas de semente em gramas em dois tratamentos Esterco Alto (círculos verdes) e Controle (triângulos marrons).

Os tratamentos resultaram em significativas alterações nas características químicas do solo, impactando diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas, especialmente em relação à matéria orgânica, fósforo, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases (Tabela 1).

A presença de matéria orgânica (MO) no solo influenciou diretamente o desenvolvimento das plantas, visto que ela é responsável por 50% a 90% da capacidade de adsorção de cátions na camada superficial do solo, além de tamponar o pH do solo e influenciar positivamente o armazenamento gradual de nutrientes como N, P, S e micronutrientes, liberados por meio do processo de mineralização (WEIL, 2012). Como resultado, solos enriquecidos com matéria orgânica promovem a disponibilidade de macro e micronutrientes para absorção pelas raízes das plantas, intensificando as trocas catiônicas e de nitrogênio (KONONOVA, 2013; CYLE et al., 2016). Tais resultados foram observados no desenvolvimento das plantas, uma vez que nos tratamentos com adubação orgânica (EsB e EsA) resultaram em plantas maiores do que os tratamentos com adubo químico e controle.

Os resultados das análises indicaram que os solos que receberam adubação orgânica apresentaram valores mais elevados de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e saturação de bases em comparação com os tratamentos sem aditivos orgânicos. A CTC representa a efetiva capacidade de troca de cátions do solo, abrangendo a disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} . A presença de matéria orgânica pode resultar numa maior disponibilidade de cátions, pois a sua presença no solo se espera uma maior produção de ácidos húmicos, os quais interagem com os minerais do solo e aceleram o seu intemperismo, liberando nutrientes na forma de cátions trocáveis (WEIL, 2012). Entretanto todos os tratamentos, os valores de percentagem de saturação por bases (V%) foram superiores a 70%, podendo ser classificados como férteis, conforme definido por LOPES e GUILHERME (1989), RONQUIM (2010) e WEIL (2012), indicando a disponibilidade de cátions não tóxicos para as plantas. Tais características evidenciam a capacidade de liberar nutrientes, promovendo a manutenção da fertilidade e limitando a ocorrência de efeitos tóxicos decorrentes da aplicação de fertilizantes químicos (RONQUIM, 2010). Com a exceção do Al^{3+} , os cátions desempenham papéis fundamentais na estruturação das plantas, sendo responsáveis, por exemplo, pela composição da parede celular (Ca), formação da clorofila (Mg), e pelo crescimento, desenvolvimento e maturação de frutos e grãos (FERNANDES, 2006).

Observou-se uma ampla variação na biomassa média das plantas jovens das oito espécies estudadas, em resposta ao tipo de adubação do solo. De forma geral, entre os métodos de adubação, nossos resultados mostraram que a adição de matéria orgânica resultou num maior acúmulo de biomassa nas plantas de todas as espécies com exceção da espécie *C. floribundus*, onde teve maior resposta aos tratamentos Químico Alto e Esterco Alto, o restante alcançaram maior valor de biomassa nos tratamentos Esterco Baixo e Esterco alto (Figura 1).

Os resultados da adubação orgânica também foram sentidos na fração de massa de raiz (RMF), que variou entre os diferentes tratamentos de adubação (Tabela 2). Os tratamentos com esterco EsA e EsB foram, respectivamente, os que apresentaram menor alocação de biomassa para as raízes e os com maior alocação foram os tratamentos REm, CT, QuB e QuA respectivamente. Alguns estudos chegaram a resultados semelhantes, onde plantas menores no início do desenvolvimento ou em solos menos férteis, investem mais em desenvolvimento de raízes, como a radícula é a primeira estrutura aflorar da semente, ela permite maior captação de água e nutrientes do solo, além de uma melhor fixação no substrato, o que

aumenta a resistência da planta às condições sazonais de escassez de água e de danos físicos como ventos e chuvas fortes (MÜLLER et al., 2000; WEINER, 2004; KRAMER-WALTER & LAUGHLIN, 2017).

Foi observada uma relação exponencial entre a altura das plantas e o tamanho e suas sementes no tratamento EsA, representado pela cor verde (círculos). Sementes de maior tamanho resultaram em plantas menores, enquanto sementes de menor tamanho resultaram em plantas maiores (Figura 2). Os indivíduos mais altos e desenvolvidos são capazes de obter mais nutrientes do solo e da luz, contribuindo para uma maior capacidade de sobrevivência (METCALFE e GRUBB, 1997; BOND et al., 1999; GREEN e JUNIPER, 2004). As plantas provenientes de sementes menores demonstraram maior incorporação de biomassa e alcançaram alturas superiores em solos ricos em nutrientes orgânicos em comparação com aqueles originados de sementes maiores. Essa tendência parece estar associada à notável plasticidade dos indivíduos de sementes pequenas, os quais, embora dependam mais das condições do solo, apresentam um crescimento mais acelerado em ambientes ricos em nutrientes como o tratamento utilizado (EsA), contrastando com as espécies provenientes de sementes grandes. Já o crescimento de plantas oriundas de sementes grandes em solos não tão férteis sugere que essas espécies podem possuir uma maior resistência a condições adversas por terem maior reserva nutricional em suas sementes, uma vez que no tratamento Controle (CT) representado pelos triângulos marrons, não apresentou diferenças significativas.

6 CONCLUSÕES

A restauração florestal não se resume ao plantio de espécies nativas, a preocupação e conhecimento quanto às características ambientais locais são indispensáveis para que os indivíduos introduzidos tenham maiores chances de se estabelecerem.

Neste estudo, os tratamentos que envolveram adubação orgânica (EsB e EsA) demonstraram maior potencial e desempenho entre as espécies. Essa informação e abordagem pode elevar a eficácia dos projetos de reintrodução de espécies arbóreas tropicais em áreas destinadas à restauração. Com isso, confirma-se a importância de se realizar uma análise minuciosa do solo na região a ser restaurada, permitindo um tratamento prévio adequado do solo, para otimizar o sucesso da restauração. Caso um estudo prévio não possa ser feito, por questões orçamentárias e outras, tais informações servem de base para a escolha de espécies com maior probabilidade de sobrevivência contribuindo para um restauro de sucesso.

Este trabalho ressalta a importância de desenvolver estratégias para a reintrodução de espécies arbóreas que minimizem as limitações causadas pela degradação do solo, visto que a presença de nutrientes no solo revelou-se crucial para o desenvolvimento das plantas, especialmente para espécies de sementes pequenas. Além disso, a adubação orgânica pode representar uma opção de restauração mais econômica e mais eficiente em comparação com

aditivos químicos, contribuindo para a redução dos custos associados aos processos de recuperação ambiental.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASANOK, L.; MAROD, D.; DUENGKAE, P.; PRANMONGKOL, U.; KUROKAWA, H.; AIBA, M.; KATABUCHI, M.; NAKASHIZUKA, T. 2013. Relationships between functional traits and the ability of forest tree species to reestablish in secondary forest and enrichment plantations in the uplands of northern Thailand. **Forest Ecology and Management**, 296: 9-23.

BALTZER, J. L.; THOMAS, S. C. Determinants of whole-plant light requirements in Bornean rain forest tree saplings. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 95, n. 6, p. 1208–1221, 2007.

BARALOTO, C.; FORGET, P. M.; GOLDBERG, D. E. 2005. Seed mass, seedling size and Neotropical tree seedling establishment. **Journal of Ecology**, 93 (6): 1156-1166.

BARBOSA, L. M., SHIRASUNA, R. T., LIMA, F. D., & ORTIZ, P. R. T. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Restauração ecológica: novos rumos e perspectivas. **São Paulo: Instituto de Botânica**, 303. 2015.

BELLO, F., CARMONA, C. P., DIAS, A. T., GÖTZENBERGER, L., MORETTI, M., & BERG, M. P. Handbook of trait-based ecology: from theory to R tools. **Cambridge University Press**. 2021.

BOND, W. J.; HONIG, M.; MAZE, K. E. Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. **Oecologia**, v. 120, n. 1, p. 132-136, 1999.

CADOTTE, M. W., ARNILLAS, C. A., LIVINGSTONE, S. W., & YASUI, S. L. E. Predicting communities from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**. 30(9), 510-511. 2015.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras, Volume 1**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 883-892.

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. 2014. Relative effects of different leaf attributes on sapling growth in tropical dry forest. **Journal of Plant Ecology**, 7 (6): 544-558.

CYLE, K. T. et al. Substrate quality influences organic matter accumulation in the soil silt and clay fraction. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 138-148, 2016.

CORNELISSEN, J. H. C. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 335–380, 2003.

DONOVAN, L. A.; MAHERALI, H.; CARUSO, C. M.; HUBER, H.; KROON, H. 2011. The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. **Trends in Ecology and Evolution**, 26: 88-95.

FERNANDES, Manlio Silvestre et al. Nutrição mineral de plantas. 2006

FOROUGHBAKHCH, R. et al. Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, [s. l.], v. 235, n. 1–3, p. 194–201, 2006.

FOROUGHBAKHCH, R., ALVARADO-VÁZQUEZ, M. A., HERNÁNDEZ-PIÑERO, J. L., ROCHA-ESTRADA, A., GUZMÁN-LUCIO, M. A., & TREVIÑO-GARZA, E. J. Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. **Forest Ecology and Management**, 235(1-3), 194-201. 2006.

GALETTI, G. **Relação entre características funcionais e desempenho de espécies arbóreas na restauração florestal: uma abordagem experimental**. 2021 – 81p: Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos – 2021.

GRASSEIN, F.; TILL-BOTTRAUD, I.; LAVOREL, S. Plant resource-use strategies: The importance of phenotypic plasticity in response to a productivity gradient for two subalpine species. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 106, n. 4, p. 637–645, 2010.

GREEN, P. T; JUNIPER, P. A. Seed–seedling allometry in tropical rain forest trees: seed mass related patterns of resource allocation and the ‘reserve effect’. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 3, p. 397-408, 2004.

GUSTAFSSON, M., GUSTAFSSON, L., ALLOYSIUS, D., FALCK, J., YAP, S., KARLSSON, A., & ILSTEDT, U. Life history traits predict the response to increased light among 33 tropical rainforest tree species. *Forest Ecology and Management*, 362, 20-28. 2016.

HOBBS, R.J.; HARRIS, J.A. 2001. Restoration ecology: repairing the earth’s ecosystems in the new millennium. **Restoration Ecology**, 9: 239–246.

HUANTE, P.; RINCÓN, E.; ACOSTA, I. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. **Functional Ecology**, 9 (6): 849-858. 1995.

JAGER, M. M. et al. Soil fertility induces coordinated responses of multiple independent functional traits. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 103, n. 2, p. 374–385, 2015.

KING, D.A., DAVIES, S.J., TAN, S., NOOR, N.S.M. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees. **J. Ecol.** 94, 670–680. 2006.

KRAMER-WALTER, K. R., & LAUGHLIN, D. C. Root nutrient concentration and biomass allocation are more plastic than morphological traits in response to nutrient limitation. **Plant and Soil**, 416(1), 539-550. 2017.

KHAN, N. et al. Exploring the Natural Variation for Seedling Traits and Their Link with Seed Dimensions in Tomato. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 7, n. 8, p. e43991, 2012. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0043991>.

KONONOVA, MaM. Soil organic matter: Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. **Elsevier**, 2013.

LAUGHLIN, D.C. 2014. Applying trait-based models to achieve functional targets for theory-driven ecological restoration. **Ecology Letters**, 17: 771-784.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações. Anda [sd], 1989.

LORANDI, R.; GONÇALVES, A. R.; MATELLATO, J. M. **Levantamento pedológico semidetalhado do campus da Universidade Federal de São Carlos (SP) e suas aplicações**. Relatório Final de projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa (400186/87-0/ pq/ fv), 1988.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MAY, R. A., & STEVENSON, K. J. **Software review of Origin 8**. 2009.

METCALFE, D. J.; GRUBB, P. J. The responses to shade of seedlings of very small-seeded tree and shrub species from tropical rain forest in Singapore. **Functional Ecology**, v. 11, n. 2, p. 215-221, 1997.

MÜLLER-LANDAU, HELENE C. The tolerance–fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 9, p. 4242-4247, 2010.

PAESE, A. **Caracterização e Análise Ambiental do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1997.

PAINE, C. T., MARTHEWS, T. R., VOGT, D. R., PURVES, D., REES, M., HECTOR, A., & TURNBULL, L. A. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 245-256. 2012.

PEREIRA, S. R.; LAURA, V. A.; SOUZA, A. L. T. Establishment of Fabaceae Tree Species in a Tropical Pasture: Influence of Seed Size and Weeding Methods. *Restoration Ecology*, 21(1): 67-74, 2013.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET HARTE, M. S.; CORNWELL, W. K.; CRAINE, J. M.; GURVICH, E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, J.; REICH, P. B.; POORTER, L.; WRIGHT, J.; RAY, P.; ENRICO, L.; PAUSAS, J. G.; DE VOSF, A. C.; BUCHMANN, N.; FUNES, G.; QUÉTIER, F.; HODGSON, J. G.; THOMPSON, K.; MORGAN, H. D.; TERSTEEGE, H.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SACK, L.; BLONDER, B.; POSCHLOD, P.; VAIERETTI, M. V.; CONTI, G.; STAYER, A. C.; AQUINO, S.; CORNELISSEN, J. H. C. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61 (3): 167-234.

PHILIPSON, C. D., DENT, D. H., O'BRIEN, M. J., CHAMAGNE, J., DZULKIFLI, D., NILUS, R., HECTOR, A. A trait-based trade-off between growth and mortality: evidence from 15 tropical tree species using size-specific relative growth rates. *Ecology and evolution*, 4(18), 3675-3688. 2014.

ROLIN, G. D. S., CAMARGO, M. B. P. D., LANIA, D. G., & MORAES, J. F. L. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66(4), 711- 720. 2007.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Monitoramento por Satélite. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 2010.

RUEDEN, C. T.; SCHINDELIN, J. & HINER, M. C. ET AL. "ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data", *BMC Bioinformatics* 18:529, PMID 29187165, doi:10.1186/s12859-017-1934-z (on Google Scholar) 2017.

SANDEL, B.; CORBIN, J. D.; KRUPA, M. Using plant functional traits to guide restoration: A case study in California coastal grassland. *Ecosphere*, 2 (2): 1-16.

SOARES, J.J.; SILVA, D.W.; LIMA, M. I. S. 2003. Current state and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo state, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63: 527-536. 2003.

SOUZA JUNIOR, C. N., & BRANCALION, P. H. **Sementes & mudas: guia para propagação de árvores brasileiras**. Oficina de Textos. 2016.

Systat for Windows version 13.0. Systat Software, Inc. San Jose, California, 2012.

SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. **Nonlinear regression**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 738 p.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. 2007. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, 116 (5): 882-892.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C.; **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 3 ed., 2012.

WESTOBY, M., et al. . Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. **Annu. Rev. Ecol. Syst.** v.33, p.181–183, 2002.

WRIGHT, I. J.; REICH, P.B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D. D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F.; CAVENDER-BARES, J.; CHAPIN, T.; CORNELISSEN, J. H. C.; DIEMER, M.; FLEXAS, J.; GARNIER, E.; GROOM, P. K.; GULIAS, J.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B. B.; LEE, T.; LEE, W.; LUSK, C.; MIDGLEY, J. J.; NAVAS, M.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTE, H.; POOT, P.; PRIOR, L.; PYANKOV, V. I.; ROUMET, C.; THOMAS, S. C.; TJOELKER, M. G.; VENEKLAAS, E. J.; VILLAR, R. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, 498: 821-827.

ZHAO, N. et al. Conservative allocation strategy of multiple nutrients among major plant organs: From species to community. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 108, n. 1, p. 267–278, 2020.