



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**INFLUÊNCIA DO SOLO E DO TAMANHO DE SEMENTE NO
CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE NOVE ESPÉCIES ARBÓREAS
TROPICAIS EM ÁREA RIPÁRIA DEGRADADA**

JULIE CHRISTINE SCALOPPI

São Carlos, SP

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**INFLUÊNCIA DO SOLO E DO TAMANHO DE SEMENTE NO
CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE NOVE ESPÉCIES ARBÓREAS
TROPICAIS EM ÁREA RIPÁRIA DEGRADADA**

JULIE CHRISTINE SCALOPPI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Lúcia Teixeira de Souza

São Carlos, SP

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Julie Christine Scaloppi, realizada em 24/08/2017:

Prof. Dra. Andrea Lucia Teixeira de Souza
UFSCar

Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes
UFSCar

Prof. Dra. Maria Teresa Zugliani Toniato
UF

RESUMO

A compreensão dos mecanismos que envolvem as relações entre plantas e ambiente abiótico é vital para o conhecimento da dinâmica sucessional de vegetações nativas em áreas degradadas. Vários estudos têm mostrado que o tamanho da semente influencia positivamente a sobrevivência e negativamente o crescimento das plantas nos primeiros estágios do seu desenvolvimento. No entanto, as condições edáficas podem influenciar estas relações, uma vez que a disponibilidade de recursos do solo pode gerar variações na sobrevivência e no crescimento das plantas. Este estudo avaliou experimentalmente a influência da massa da semente e das propriedades do solo na performance de nove espécies arbóreas nativas que formavam um gradiente de tamanho de semente: *Cedrela fissilis*, *Pterogyne nitens*, *Cariniana estrellensis*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Copaifera langsdorffii*, *Enterolobium timbouva*, *Platypodium elegans*, *Schizolobium parahyba* e *Hymenaea courbaril*. Estas espécies foram introduzidas como mudas com o objetivo de restaurar uma área ripária degradada. A partir de um modelo conceitual, avaliamos simultaneamente a sobrevivência e o crescimento das plantas em função da massa de semente, do tamanho inicial da planta e das propriedades químicas do solo em quatro intervalos de tempo ao longo dos três primeiros anos após o plantio. Nesse período, a massa da semente e as propriedades químicas do solo influenciaram diretamente e indiretamente, via tamanho inicial das plantas, o crescimento e sobrevivência. No primeiro intervalo de tempo, que compreendeu o período entre o plantio e os dois meses subsequentes, a massa da semente foi o principal fator que influenciou a sobrevivência e a taxa de crescimento em diâmetro das plantas, mas o diâmetro inicial (diâmetro das plantas na ocasião do plantio) e a fertilidade do solo também influenciaram o crescimento. No segundo intervalo de tempo (entre os dois primeiros meses e o final do primeiro ano), a massa da semente e o diâmetro inicial influenciaram positivamente a sobrevivência. Neste período, o diâmetro inicial, a fertilidade do solo e a massa da semente influenciaram a taxa de crescimento. Nos dois anos subsequentes, a sobrevivência das plantas jovens foi influenciada apenas pelo seu diâmetro inicial e o crescimento das plantas foi influenciado pela massa de semente e negativamente pela acidez potencial do solo. De maneira geral, as espécies de sementes menores geraram indivíduos menores e possuíam um crescimento mais rápido até o final do primeiro ano, enquanto as espécies de sementes maiores geraram indivíduos maiores, porém com um crescimento mais lento e constante, superando o crescimento

das espécies de sementes menores ao longo do segundo ano. Sementes maiores também alcançaram maiores taxas de sobrevivência durante o primeiro ano. Plantas maiores cresceram mais até o final do primeiro ano e tiveram maiores chances de sobrevivência após o primeiro ano. A fertilidade do solo estimulou o crescimento das plantas resultando em plantas maiores, enquanto a variação da acidez potencial influenciou negativamente a performance em alguns períodos de estudo. Nossos resultados corroboraram com a hipótese do tamanho de plântula e metabólica. A análise prévia das propriedades do solo, a melhoria das condições edáficas das áreas degradadas e a consideração das características funcionais na escolha das espécies arbóreas tropicais podem melhorar a eficácia dos projetos de restauração.

Palavras-chave: desenvolvimento inicial de plantas, fertilidade do solo, modelo estrutural, performance de espécies arbóreas, restauração de florestas ripárias

ABSTRACT

Understanding the mechanisms that involves the relations between plants and the abiotic environment is vital for the knowledge of the successional dynamics of native vegetation in degraded areas. Several studies have shown that seed size positively influences survival and negatively influences the growth of plants in the early stages of their development. However, soil conditions can influence these relationships, since the availability of soil resources can generate variations in plant survival and growth. This study evaluated the influence of seed mass and soil properties on the performance of nine native tree species that formed a seed size gradient: *Cedrela fissilis*, *Pterogyne nitens*, *Cariniana estrellensis*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Copaifera langsdorffii*, *Enterolobium timbouva*, *Platypodium Elegans*, *Schizolobium parahyba* and *Hymenaea courbaril*. These species were introduced as seedlings with the objective of restoring a degraded riparian area. From a conceptual model, we simultaneously evaluated the survival and growth of plants in function of seed mass, initial plant size and soil chemical properties at four time intervals over the first three years after planting. During this period, the seed mass and the chemical properties of the soil influenced directly and indirectly, through initial plant size, growth and survival. In the first time interval, the period between planting and the two subsequent months, seed mass was the main factor influencing survival and growth rate, but the initial diameter (plant diameter when they were planted) and soil fertility also influenced growth. In the second time interval (between the first two months and the end of the first year), seed mass and initial diameter positively influenced survival. In this period, the initial diameter, soil fertility and seed mass influenced the growth rate. In the following two years, the survival of young plants was influenced only by their initial diameter and plant growth was influenced by seed mass and influenced negatively by soil potential acidity. In general, the smaller seed species generated smaller individuals and had a faster growth until the end of the first year, whereas the larger seed species generated larger individuals, but with a slower and constant growth, surpassing the growth of the small seeded species during the second year. Larger seeds also achieved higher survival rates during the first year. Larger plants grew more by the end of the first year and had greater chances of survival after the first year. Soil fertility stimulated plant growth resulting in larger plants, while potential acidity variation negatively influenced performance in some study periods. Our results corroborate with the hypothesis of seedling size and the

metabolic hypothesis. Prior analysis of soil properties, improvement of edaphic conditions in degraded areas and consideration of functional traits in the choice of tropical tree species can improve the effectiveness of restoration projects.

Key words: initial plant development, restoration of riparian forests, soil fertility, structural model, tree species performance.

Sumário

INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
Área de estudo.....	13
Espécies estudadas.....	14
Desenho experimental.....	16
Coleta e análise de dados.....	18
Solo.....	18
Sobrevivência e crescimento de plantas.....	19
Análise de dados.....	19
RESULTADOS.....	22
Crescimento e sobrevivência ao longo do tempo.....	22
Solo.....	24
Modelo conceitual.....	25
DISCUSSÃO.....	29
Desempenho das espécies.....	29
Influência do solo e do tamanho de semente na performance.....	31
Performance das plantas ao longo do tempo.....	34
CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO.....	48

INTRODUÇÃO

A performance de plantas é fortemente influenciada por suas características morfo-fisiológicas e pela fenologia (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013; Violle *et al.*, 2007). A massa ou tamanho de semente é uma das características que influenciam a performance e, por isso, é considerada um traço funcional (Violle *et al.*, 2007).

O tamanho de semente varia amplamente entre e dentro de espécies e em diferentes ecossistemas (Harper *et al.*, 1970; Leishman *et al.*, 2000). Essa diversidade de tamanhos é atribuída, segundo o modelo de Muller-Landau (2010), à maior produção de sementes pequenas e à maior tolerância ao estresse de plantas oriundas de sementes grandes. Estudos em diversos tipos de vegetação mostram que as sementes grandes possuem maiores chances de emergência (Dalling e Hubbel, 2002; Metz *et al.*, 2010; Moles e Westoby, 2004; Moles e Westoby, 2006) e de sobrevivência (Baraloto *et al.*, 2005; Lebrija-Trejos *et al.* 2016; Lahoreau *et al.*, 2006; Metz *et al.*, 2010; Osunkoya *et al.*, 1994; Poorter *et al.*, 2008;), enquanto as sementes pequenas podem ser produzidas em maiores quantidades (Moles e Westoby, 2004) e são mais facilmente dispersas (Muller-Landau *et al.*, 2008; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

As relações entre tamanho de semente e performance de plantas são explicadas pelas hipóteses do efeito-reserva, efeito do tamanho de plântula e efeito metabólico (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996). A morfologia e o padrão de alocação de recursos das espécies podem determinar seu sucesso no estabelecimento, mas a disponibilidade dos recursos acima e abaixo do solo influenciam esta relação (Soriano *et al.*, 2013). O recurso presente nos cotilédones é lentamente translocado para as raízes e, posteriormente, a reserva estocada nas raízes é utilizada para repor tecidos danificados por fatores físicos, como herbivoria, e também como fonte de recursos em condições desfavoráveis (Barberis e Dalling, 2008). A hipótese do efeito-reserva prevê que as sementes grandes retêm uma proporção maior de reservas nutricionais que podem ser mobilizadas posteriormente, suprindo a plântula em períodos de déficit de carbono (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996). Green e Juniper (2004) avaliaram 32 espécies tropicais germinadas em viveiro na ausência de nutrientes de solo e de luz. As sementes das espécies escolhidas formaram um gradiente de massa de reserva que variou entre 36mg e 25g e possuíam cotilédones de armazenamento. Seus resultados corroboram com a hipótese do efeito-reserva mostrando que a massa cotiledonar aumentou mais do que proporcionalmente ao tamanho da semente (aumento

de 12% da massa cotiledonar por ordem de magnitude da massa de semente).

A hipótese do efeito do tamanho de plântula atribui a melhor performance das sementes maiores às vantagens oriundas do tamanho da planta que é gerada logo após a germinação (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996). Plântulas maiores são normalmente associadas à melhor competitividade e resistência ao estresse uma vez que plântulas maiores possuem maior biomassa das partes aéreas, incluindo tamanho da copa e de folhas e um sistema radicular mais desenvolvido (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013; Baraloto *et al.*, 2005; Lebrija-trejos *et al.*, 2016; Quero *et al.*, 2007; Visser *et al.*, 2016).

Segundo a hipótese metabólica, a menor taxa de crescimento e possivelmente a menor taxa de respiração em plantas de sementes grandes viabilizam uma maior resistência às condições de estresse (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996). A relação negativa entre massa de semente e crescimento foi observada em diversos estudos (Bloor e Grubb, 2003; Doust *et al.*, 2008; Lebrija-Trejos *et al.*, 2016; Osunkoya *et al.*, 1994; Poorter & Rose, 2005; Quero *et al.*, 2007). Assim, as espécies consideradas de crescimento rápido, normalmente pioneiras tendem a possuir sementes menores (Kageyama e Gandara, 2001). As plantas cujo crescimento é mais rápido são mais suscetíveis às doenças, herbivoria e a danos físicos do que as de crescimento lento, resultando numa maior susceptibilidade ao ambiente onde a planta está inserida (Kitajima e Poorter, 2008). Espécies cujo padrão de alocação de recursos prioriza a defesa contra herbívoros e o estoque de recursos são associadas a um crescimento mais lento, resultando em maiores chances de sobrevivência principalmente em locais de ambiente mais desfavorável (Kitajima e Poorter, 2008).

A massa da semente é um traço funcional que pode estar correlacionado com outros traços. Poorter e Rose (2005), realizaram uma meta-análise envolvendo 23 estudos com espécies tropicais e mostrou uma correlação entre a massa de semente e outros traços que eram relacionados ao crescimento (taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, relação de área foliar, área foliar específica e fração de massa foliar). Em área de restauração sob condições de seca, Hallett *et al.* (2011) encontraram que a massa da semente era positivamente correlacionada com a biomassa e o tamanho da raiz.

Apesar das vantagens relacionadas a maior massa de semente, alguns estudos mostram efeitos nulos ou negativos do tamanho de semente na sobrevivência (Larson *et*

al., 2015; Manning *et al.*, 2009; Moles e Westoby, 2004; Philipson *et al.*, 2014; Wright *et al.*, 2010). Tomando como base o trade-off tolerância-fecundidade, nos sítios em que o estresse não é forte o suficiente, as espécies de semente pequena tendem a recrutar mais indivíduos (Muller-Landau, 2010), resultando em um efeito nulo ou negativo da massa de semente sobre a sobrevivência.

A sobrevivência da plântula em condições adversas é determinada por diferentes conjuntos de mecanismos que operam em diferentes estágios. Alguns estudos avaliaram os efeitos da massa de semente na performance em diferentes estágios e constataram sua variação ao longo do tempo (Baraloto *et al.* 2005; Larson *et al.*, 2015; Macera *et al.*, *in press*; Pooter e Rose, 2005; Visser *et al.*, 2016). Leishman *et al.* (2000) divide os estágios em: logo após a germinação, onde a sobrevivência é mais influenciada pelas reservas e pelo tamanho inicial da plântula; e após esse período, o crescimento e sobrevivência são influenciados pela morfologia e fisiologia da plântula, sem efeito direto do tamanho de semente. Assim, as relações entre massa de semente e estabelecimento podem variar em diferentes estágios do desenvolvimento das plantas (Baraloto *et al.*, 2005). No caso de restauração de vegetação nativa com espécies arbóreas tropicais, os primeiros estágios de vida são os mais críticos e, nesse contexto, Martínez-Garza *et al.* (2013) apontaram que o acompanhamento da performance nos primeiros meses é um bom indicador de performance a médio prazo.

A performance das plantas e a dinâmica de vegetações nativas ao longo do tempo envolvem suas relações com o ambiente abiótico (Ehleringer e Sandquist, 2006; Hall *et al.*, 2011; Khurana e Singh, 2001; Suding *et al.*, 2004). As condições ambientais podem ser consideradas filtros, restringindo quais indivíduos, portadores de características específicas, vão ser eliminados ou persistir numa determinada comunidade vegetal (Díaz *et al.*, 2007; Keddy, 1992).

As propriedades físicas e químicas do solo afetam a disponibilidade de recursos essenciais para seu estabelecimento (Ehleringer e Sandquist, 2006). Como exemplo, a maior concentração de matéria orgânica no solo aumenta a disponibilidade de macro e micronutrientes, promove a estabilidade de agregados e reduz o alumínio trocável no solo através da interação com os ânions orgânicos, resultando em um maior crescimento das raízes (Palm *et al.*, 1997). As relações solo-planta são extremamente relevantes para a dinâmica populacional, composição de comunidades e funcionamento dos ecossistemas. Diferenças nas propriedades do solo influenciam a performance das

espécies, gerando variações nas taxas de crescimento e sobrevivência influenciando a distribuição espacial e a estrutura das florestas tropicais (Russo *et al.*, 2005; Scholten *et al.*, 2017; Van Breugel *et al.*, 2011).

A transformação das áreas tropicais para sistemas convencionais de produção agrícola e outras atividades humanas têm causado a degradação do solo através da alteração nos processos físicos, químicos e microbiológicos (Balsan, 2006). A alteração na estrutura física e os processos erosivos associados à retirada da vegetação resultam em perda nutricional e decréscimo de atividades enzimáticas (An *et al.*, 2008). Esta degradação acrescenta um obstáculo à reintrodução de espécies arbóreas nativas visando a restauração, uma vez que a performance das espécies nativas é diretamente condicionada às condições edáficas (Hobbs e Norton, 2004).

Nossa habilidade de restaurar ecossistemas degradados é fundamentalmente atrelada à nossa habilidade de manejar o recrutamento de plantas Larson *et al.* (2015). Assim, o desenvolvimento de estratégias de restauração e conservação da biodiversidade de florestas tropicais depende da compreensão dos mecanismos envolvidos nas relações entre a performance das diferentes espécies vegetais e o estado de degradação do solo (Ehleringer e Sandquist, 2006; Hall *et al.*, 2011; Khurana & Singh, 2001; Suding *et al.*, 2004).

Este estudo avaliou a influência do solo e da massa ou tamanho de semente na performance de nove espécies arbóreas nativas introduzidas com o objetivo de restaurar uma área ripária degradada, ao longo dos três primeiros anos após o plantio. A partir de um modelo conceitual, avaliamos as possíveis relações entre a massa de semente, diâmetro basal inicial e as propriedades do solo para compreender o mecanismo que influencia o crescimento e a sobrevivência nos primeiros estágios de vida. Questionamos (1) se há influência da massa de semente e das propriedades do solo no crescimento e sobrevivência das nove espécies arbóreas nativas, considerando que as espécies selecionadas perfazem um gradiente de massa de semente e que a área experimental está localizada em um gradiente nutricional de solo; (2) como as relações entre essas variáveis se altera ao longo dos três anos após a introdução das mudas na área experimental. Esperamos que as interações estabelecidas pelo modelo conceitual se alterem ao longo do tempo, com a redução da importância da massa de semente e aumento da importância das propriedades do solo para a performance.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área experimental está inserida numa Área de Proteção Permanente – APP, que margeia o córrego Córrego Engenho Velho localizada na Estância Dois Irmãos, município de São Carlos – SP, Brasil (Figura 1). A vegetação da área constituía-se de floresta ripária originalmente. No entanto, parte desta floresta havia sido desmatada e era utilizada como pasto, com a vegetação composta basicamente por gramíneas exóticas principalmente *Urochloa brizantha*. O experimento foi conduzido nos locais de pasto que margeiam o remanescente de floresta ripária compreendendo aproximadamente 200m de comprimento e uma área total de 577m² (Figura 1).

O clima no município de São Carlos é classificado como Aw no sistema Köppen (Rolim *et al.*, 2007). A temperatura média anual varia de 20,8°C a 21,7°C, enquanto que a pluviosidade média anual varia de 1.138 a 1.593mm³ e a precipitação média é de 1.429mm (Soares *et al.*, 2003). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro (Calderano-Filho *et al.*, 1998). A vegetação no município de São Carlos encontra-se bastante fragmentada e é composta por cerrado, cerradão, floresta semidecídua, floresta ripária e áreas em regeneração (Soares *et al.*, 2003).

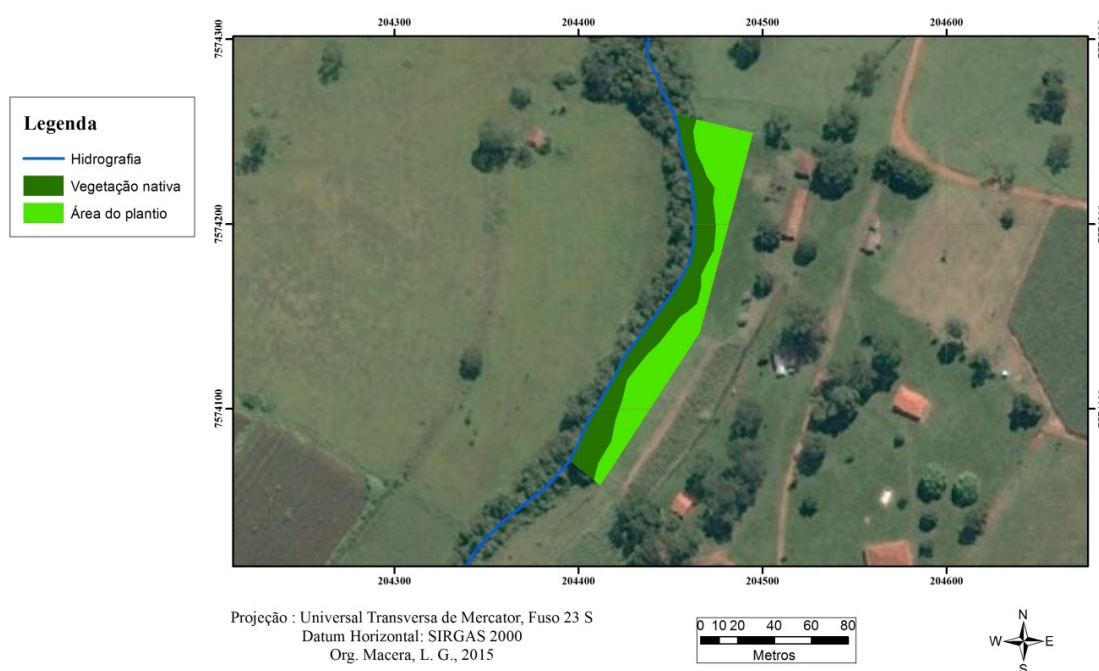


Figura 1 – Imagem de satélite da área de floresta ripária. O destaque em verde escuro representa o remanescente composto de floresta nativa e em verde claro a área experimental de plantio de mudas.

O experimento em campo foi dividido em quatro intervalos de tempo (IT). O intervalo de tempo I, entre 14 dias após o plantio das mudas e 61 dias. O término do IT I coincidiu com o final da primeira estação chuvosa. O segundo intervalo de tempo (IT II) se estendeu entre o 61º dia e o final do primeiro ano após o plantio, compreendendo 316 dias. O terceiro intervalo de tempo (IT III) compreendeu o segundo ano após o plantio, com 355 dias. O quarto intervalo de tempo (IT IV) foi de 380 dias e coincidiu com o terceiro ano após o plantio. As condições climáticas de precipitação e temperatura média dos quatro intervalos de tempo foram representados por diagramas climáticos baseado nos dados da Estação Meteorológica da EMBRAPA que se localiza a aproximadamente 1km da área experimental (Figura 2). Os períodos de estresse hídrico correspondem a área abaixo da intersecção entre a curva da temperatura e da pluviosidade.

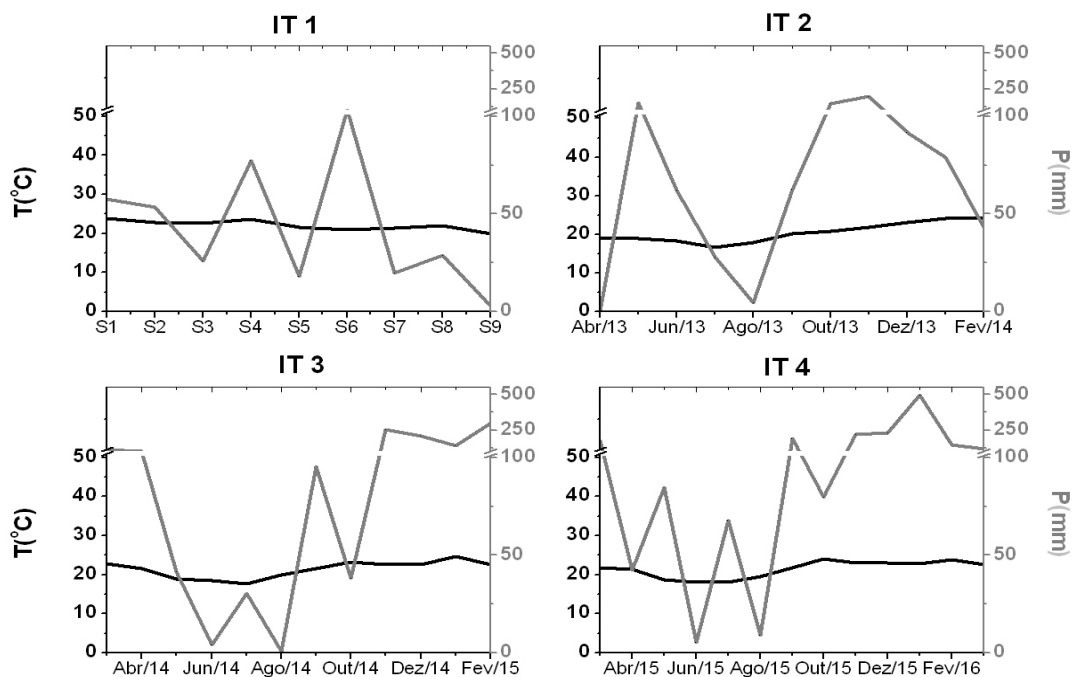


Figura 2 – Diagrama climático com os valores de temperatura (T) em graus Celsius, representada pela linha preta, e precipitação (P) em mm, representada pela linha cinza, durante os Intervalos de Tempo estabelecidos.

Espécies estudadas

Foram selecionadas espécies arbóreas nativas comuns em florestas ripária da região de São Carlos (Barbosa e Martins, 2003) (Tabela 1).

Cedrela fissilis (CEF) é uma espécie presente em todas as regiões geopolíticas brasileiras, principalmente no sul e sudeste. Ocorre principalmente em solos profundos e úmidos, mas bem drenados e com textura argilosa a areno-argilosa (Carvalho, 2003). Sua madeira é caracterizada como leve a moderadamente densa (Jankowsky *et al.*, 1990). O cedro é uma espécie de crescimento rápido, tem necessidade de luz para desenvolver-se, é heliófita, e possui tolerância à variações de temperatura (Angeli, 2005). Pode sofrer ataques severos da broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella*), o que foi observado em alguns indivíduos ao longo do experimento.

Pterogyne nitens (PTN) é encontrada do nordeste brasileiro até o oeste de Santa Catarina (Lorenzi, 2002). Sua madeira é considerada moderadamente densa (Lorenzi, 2002). É uma espécie heliófita e possui um crescimento lento a moderado, entretanto para alguns autores, é considerada como pioneira em sítios degradados e arenosos (Lorenzi, 2002; Carvalho, 2003).

Cariniana estrellensis (CAE) ocorre em todo sudeste, em alguns estados do nordeste, centro-oeste e sul e também foi registrada no Acre (Carvalho, 2003). As condições ambientais ideais para o desenvolvimento de *Cariniana estrellensis* (CAE) são solos profundos, férteis, com textura areno-argilosa a argilosa, mas também ocorre em solos pouco férteis e devem ser evitados solos muito arenosos e pouco drenados (Carvalho, 2003). Planta heliófita que tolera sombreamento na fase juvenil, e com crescimento variável, de moderado a rápido (Carvalho, 2003; Lorenzi, 2002). Sua madeira é moderadamente densa.

Enterolobium contortisiliquum (ENC) ocorre do nordeste brasileiro ao Rio Grande do Sul. A espécie é considerada heliófita ou semi-heliófita e sua madeira é leve (Lorenzi, 2002). O crescimento, principalmente em diâmetro, é rápido em solos férteis, com boa disponibilidade hídrica e textura franco-argilosa a argilosa (Lorenzi, 2002).

Copaifera langsdorffii (COL) possui uma ampla distribuição no Brasil (Carvalho, 2003), abrangendo diversas formações florestais. É uma espécie bastante plástica, encontrada desde solos férteis, bem drenados até solos pobres, ácidos e álicos, como o do cerrado (Carvalho, 2003). A madeira de *Copaifera langsdorffii* é moderadamente densa (Carvalho, 2003; Lorenzi, 2002). Caracteriza-se como espécie heliófita tolerante a sombra, com crescimento lento à moderado (Carvalho, 2003).

A espécie *Platypodium elegans* (PLE) ocorre em estados do nordeste, centro-oeste e sudeste, principalmente no cerrado e em sua transição para a floresta semidecídua. Sua madeira é moderadamente densa e é considerada um planta heliófita (Lorenzi, 2002). Não foi encontrada informação sobre o crescimento dessa espécie na literatura.

Enterolobium timbouva (ENT) ocorre naturalmente em vários tipos de solo, mas tem melhor crescimento em solos com textura franco-argilosa a argilosa (Carvalho, 2008), sendo encontrada no nordeste, sudeste, centro-oeste e nos estados de Roraima e Pará. É uma espécie heliófita, medianamente tolerante ao frio, com crescimento moderado. Sua madeira é considerada leve (Carvalho, 2008; Lorenzi, 2002).

Schizolobium parahyba (SCP) é encontrada da Bahia até Rio Grande do Sul. Não tolera baixas temperaturas e não apresenta grandes exigências à respeito do solo (Carvalho, 2003). É essencialmente heliófita, é uma das plantas nativas de mais rápido crescimento quando em condições ambientais adequadas (Lorenzi, 2002). Sua madeira é considerada leve (Carvalho, 2003).

Hymenaea courbaril (HYC) está presente no nordeste, sudeste, centro-oeste e Paraná, e é característica da Floresta Estacional Semidecidual. É considerada heliófita, com um crescimento de lento a moderado e madeira densa. Ocorre naturalmente em solos secos e, às vezes, até em solos de baixa fertilidade, com melhoras no crescimento quando a fertilidade varia de média a elevada (Carvalho, 2003; Lorenzi, 2002).

Desenho experimental

As sementes coletadas foram utilizadas para a definição do gradiente de tamanho de semente (Tabela 1). As massas médias das sementes de todas as espécies foram estimadas a partir de amostras de 200 sementes que foram pesadas individualmente em balança com precisão de 0,001mg. As sementes utilizadas para definir o gradiente de massa de semente e para a produção de mudas foram coletadas na região de São Carlos e entorno; aquelas que apresentavam qualquer anomalia foram descartadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Família e espécie selecionada, código criado, nome popular, ocorrência no sudeste do Brasil*, classe sucessional*, massa média e desvio padrão (\pm DP) das sementes.

Família / Espécie	Código	Nome Popular	Ocorrência (SE)	Classe Sucessional	Massa da Semente (g)
Meliaceae <i>Cedrela fissilis</i>	CEF	Cedro - Rosa Cedrinho	Floresta estacional semidecidual Floresta ombrófila densa Florestas ombrófila mista Mata ciliar Mata paludosa Cerrado	Não Pioneira	0,042 \pm 0,007
Fabaceae <i>Pterogyne nitens</i>	PTN	Amendoim-do-campo Amendoim-bravo	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar	Não Pioneira	0,081 \pm 0,018
Lecythidaceae <i>Cariniana estrellensis</i>	CAE	Jequitibá-branco	Restinga Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar Mata paludosa Cerrado	Não Pioneira	0,092 \pm 0,016
Fabaceae <i>Enterolobium contortisiliquum</i>	ENC	Timburi Tamboril	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar	Pioneira	0,252 \pm 0,026
Fabaceae <i>Copaifera langsdorffii</i>	COL	Copaíba Óleo-de-copaíba	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar Mata paludosa Floresta estacional decidual Cerrado	Não Pioneira	0,358 \pm 0,080
Fabaceae <i>Enterolobium timbouva</i>	ENT	Timburi Tamboril	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar	Pioneira	0,717 \pm 0,151
Fabaceae <i>Platypodium elegans</i>	PLE	Jacarandá-do-campo Faveiro	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar Mata paludosa Cerrado	Não Pioneira	0,748 \pm 0,074
Fabaceae <i>Schizolobium parahyba</i>	SCP	Guapuruvu	Restinga Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar	Pioneira	1,809 \pm 0,260
Fabaceae <i>Hymenaea courbaril</i>	HYC	Jatobá Jatobá-miúdo	Floresta ombrófila densa Floresta estacional semidecidual Mata ciliar	Não Pioneira	5,125 \pm 1,212

* Barbosa *et al.*, 2015

A dormência das sementes foi superada através de escarificação mecânica (Carvalho, 2003; Salomão, 2003), exceto as sementes de *Copaifera langsdorffii*, que não necessitaram de tratamento para superação de dormência (Pereira *et al.*, 2013). As sementes foram dispostas em placas de petri com vermiculita e germinaram em câmara de germinação com ambiente controlado (28°C de temperatura e fotoperíodo de 12h). Após a exposição das radículas, foram transplantadas para tubetes com volume de 290cm³ preenchido com substrato orgânico e fibra de coco (20%) e cultivadas no

viveiro do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. As mudas foram mantidas por aproximadamente quatro meses no viveiro com irrigação por aspersão durante 5 minutos, quatro vezes ao dia, e 20% de sombreamento. Reduzimos a irrigação pela metade nas três semanas antes do transporte para a área de campo.

A área de campo onde foi conduzido este experimento foi previamente isolada do gado com cercas e as gramíneas foram removidas quimicamente. Sulcos no solo de aproximadamente 30cm de profundidade foram feitos em linhas para descompactação do solo, onde seriam plantadas as mudas. As mudas foram dispostas em gride 2x2 metros entre os dias 12 e 14 de fevereiro de 2013.

A área foi dividida em 10 parcelas de aproximadamente 20m de comprimento paralela ao córrego e a largura das parcelas variou de 4 a 28m (Figura 1). A disposição das espécies foi totalmente aleatorizada e todas as mudas foram etiquetadas com lacres coloridos e numerados para permitir a identificação individual de cada planta.

Foram introduzidas 63 mudas de *C. fissilis*, 63 de *P. nitens*, 63 de *C. estrellensis*, 64 de *E. contortisiliquum*, 61 de *C. langsdorffii*, 64 de *E. timbouva*, 61 de *P. elegans*, 62 de *S. parahyba* e 63 de *H. courbaril*.

Coleta e análise de dados

Solo

A coleta de solo foi realizada em novembro de 2014, após um período de aproximadamente sete dias de estiagem, seguindo a recomendação da Embrapa (1997), para evitar solos muito úmidos ou muito secos e garantir uma amostragem homogeneizada.

Amostras compostas do solo foram retiradas na profundidade de 0 - 20cm com o uso de um trado em cada parcela. Cada amostra composta foi obtida com a mistura e homogeneização de três amostras deformadas simples que se distribuíram dentro de cada uma das parcelas evitando-se os troncos e raízes das árvores e retirando-se a serrapilheira acumulada antes do início do procedimento. Todas as sub amostras foram retiradas a uma distância mínima de 5m dos cantos e das bordas para diminuir a influência das áreas adjacentes e entre as parcelas nos resultados. A mistura e

homogeneização foram realizadas em um recipiente grande de onde foram retiradas 500g para a composição final da amostra composta.

As análises químicas e físicas do solo foram conduzidas no Laboratório de Ciências do Solo da Universidade de São Paulo, de acordo com os procedimentos descritos por Embrapa (1997) e Raij *et al.* (2001). Foram determinadas propriedades químicas: pH, Matéria Orgânica (MO), Fósforo disponível (P), Concentração total de Nitrogênio (N), Potássio trocável (K⁺), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Hidrogênio e Alumínio (H+Al), Soma de Bases (SB) e Capacidade de troca de cátions (CTC). O resultado da análise química do solo está disponível na Tabela 2 no anexo do presente estudo.

Sobrevivência e crescimento de plantas

O diâmetro basal (diâmetro do caule da planta rente ao solo) e a sobrevivência de todas as plantas foi registrado bimestralmente até o primeiro ano após o plantio e depois semestralmente. O diâmetro foi medido através de paquímetro digital e em indivíduos com diâmetro maior que 15cm utilizamos fita métrica para o cálculo da circunferência e sua posterior conversão em diâmetro. A taxa de crescimento relativo (TCR) em diâmetro foi estimada para os quatro intervalos de tempo como:

$$TCR = \frac{\ln(D_2) - \ln(D_1)}{\Delta t}$$

Onde D_2 representa o diâmetro basal no final do intervalo de tempo, D_1 representa o diâmetro basal no início do intervalo de tempo e Δt o intervalo de tempo em semanas.

Estimamos as taxas de sobrevivência ao fim de cada intervalo de tempo através do número de indivíduos vivos em relação ao número de plantas que foram inseridas. Estimamos as médias e erro padrão das TCR e taxas de sobrevivência por espécie e parcela em cada intervalo de tempo e relacionamos com os dias contados a partir do plantio em campo.

Análise de dados

Conduzimos a Análise de Variância de Medidas Repetidas para avaliar o crescimento das plantas ao longo do tempo entre espécies. Como a interação espécie×tempo foi significativa, avaliamos as diferenças entre espécies em cada

intervalo de tempo através do teste de Tukey. Os resíduos foram checados graficamente para avaliar tendências ao longo da estimativa.

A análise granulométrica definiu as classes texturais das amostras de solo a partir do triângulo textural detalhado (Santos *et al.*, 2005). A Análise de Componentes Principais (ACP) foi conduzida para descrever a variação espacial na fertilidade do solo baseada na análise química. Os dados foram transformados em logaritmo e depois padronizados para média = 0 e desvio padrão = 1. Uma análise de correlação entre todos os parâmetros químicos foi conduzida previamente e aquelas com uma correlação acima de 80% com outras propriedades foram retiradas para construir uma variável teórica que minimiza a soma de quadrados residuais totais, depois do ajuste linear aos dados. Assim, para a ACP utilizamos MO, HAL, K, CTC, N, P e PH. Esta análise foi conduzida no Systat 13 (Systat, 2012).

Para avaliar o efeito da massa da semente, diâmetro basal e parâmetros químicos do solo na sobrevivência e no crescimento ao longo do tempo, construímos um modelo conceitual para cada intervalo de tempo (Figura 3). O modelo conceitual foi avaliado através da Path analysis (Mitchell, 2001) para avaliar simultaneamente as relações entre massa de semente, solo, diâmetro basal no início do intervalo de tempo, crescimento e sobrevivência das plantas nos quatro intervalos de tempo (Figura 3). Essa análise possibilita especificar e quantificar simultaneamente todas as relações diretas e indiretas separando efeitos diretos das variáveis independentes de efeitos indiretos via outras variáveis dependentes. Os coeficientes Path são coeficientes de regressão parcial e podem ser interpretados de forma similar a regressões múltiplas. As análises do modelo conceitual foram conduzidas no programa Lisrel 8.5 (Jöreskog e Sörbom, 2001).

A massa de semente foi inserida no modelo conceitual como a massa média das sementes da espécie (Tabela 1) e a qualidade do solo foi inserida no modelo utilizando os dois primeiros eixos da ACP, solo 1 e solo 2, respectivamente. O diâmetro basal, a taxa de crescimento relativo e a sobrevivência foram as estimativas das médias por espécie e por parcela de cada intervalo de tempo. Os dados de sobrevivência foram transformados em logit usando a seguinte fórmula:

$$s' = \ln \frac{s}{(1-s)}$$

Onde s é a taxa de sobrevivência. Para contornar os problemas com valores 0 e 1, modificamos a escala previamente para 0,1-0,9.

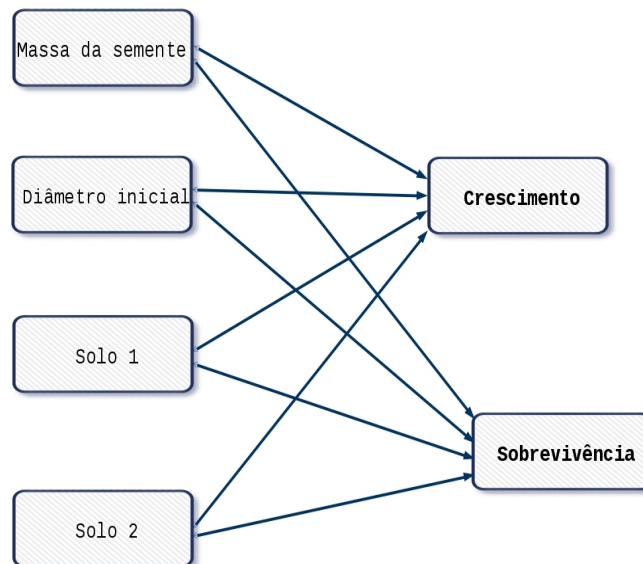


Figura 3 – Modelo conceitual proposto para as relações entre massa de semente, diâmetro inicial, escore do eixo 1 e escore do eixo 2 da ACP, com o crescimento e a sobrevivência de plantas introduzidas numa área ripária degradada. As variáveis em negrito representam as variáveis resposta e as demais as explanatórias, as setas indicam as relações hipotetizadas.

As variáveis tamanho de semente e qualidade do solo foram consideradas como independentes, sendo que as variáveis compostas pelas propriedades químicas do solo foram reduzidas em duas variáveis através da Análise de Componentes Principais (ACP), descrita acima. No IT I consideramos como variáveis dependentes a taxa de crescimento relativo, a sobrevivência e o diâmetro basal inicial. Nesse período consideramos que o diâmetro inicial estava sendo influenciado apenas pelo tamanho de semente, uma vez que as plantas ainda não haviam sido influenciadas pelo solo da área (Baraloto *et al.*, 2005; Green e Juniper, 2004). Nos demais intervalos de tempo o diâmetro inicial foi considerado variável independente juntamente com o tamanho de semente, solo 1 e solo 2 (Figura 3).

RESULTADOS

Crescimento e sobrevivência ao longo do tempo

De forma geral, o crescimento de todas as espécies reduziu ao longo do tempo, entre IT I e IT IV (Figura 4), mas este padrão diferiu entre as espécies ($F = 20.505$, $p < 0,001$). No IT I, as espécies formaram dois grupos distintos com relação a taxa de crescimento. O primeiro grupo composto por *E. contortisiliquum*, *E. timbouva*, *P. nitens* e *C. fissilis* que não diferiram entre si ($p > 0,05$), mas diferiram do restante das espécies ($p < 0,05$). O segundo grupo formado por *S. parahyba*, *C. estrellensis*, *C. langsdorffii*, *H. courbaril* e *P. elegans* que não tiveram diferenças significativas entre si ($p > 0,05$) e cresceram em uma taxa menor do que o primeiro grupo (Figura 4).

No IT II, formaram dois grupos de espécies, o primeiro foi composto por *E. contortisiliquum*, *C. fissilis*, *S. parahyba* que não diferiram entre si em relação ao crescimento ($p > 0,05$) e apresentaram as maiores taxas. O segundo grupo teve as menores taxas de crescimento e foi composto por *C. estrellensis* e *C. langsdorffii*. As espécies *P. nitens*, *E. timbouva*, *P. elegans* e *H. courbaril* tiveram crescimentos intermediários entre os dois grupos (Figura 4).

P. elegans e *E. timbouva* formaram o grupo de espécies com as maiores taxas de crescimento no IT III e não diferiram entre si ($p > 0,05$). *P. nitens*, *S. parahyba* e *H. courbaril* não diferiram entre si ($p > 0,05$) e tiveram valores intermediários de crescimento. As espécies *E. contortisiliquum*, *C. fissilis*, *C. langsdorffii* e *C. estrellensis* formaram o grupo com as menores taxas de crescimento (Figura 4).

No último intervalo de tempo (IT IV), tiveram os maiores crescimentos e não diferiram entre si ($p > 0,05$) as espécies *E. timbouva* e *P. elegans*. As espécies com crescimento intermediário foram *E. contortisiliquum*, *C. langsdorffii*, *C. estrellensis* e *H. courbaril*. *P. nitens*, *S. parahyba*, *C. fissilis* não diferiram entre si ($p > 0,05$) e tiveram as menores taxas de crescimento (Figura 4).

Observamos que o crescimento de espécies que inicialmente tinham as maiores TCR, como *E. contortisiliquum* e *C. fissilis*, reduz ao ponto de se tornarem menores do que o crescimento de espécies que inicialmente tinham menores TCR, como *P. elegans*, *H. courbaril* e *S. parahyba* (Figura 4).

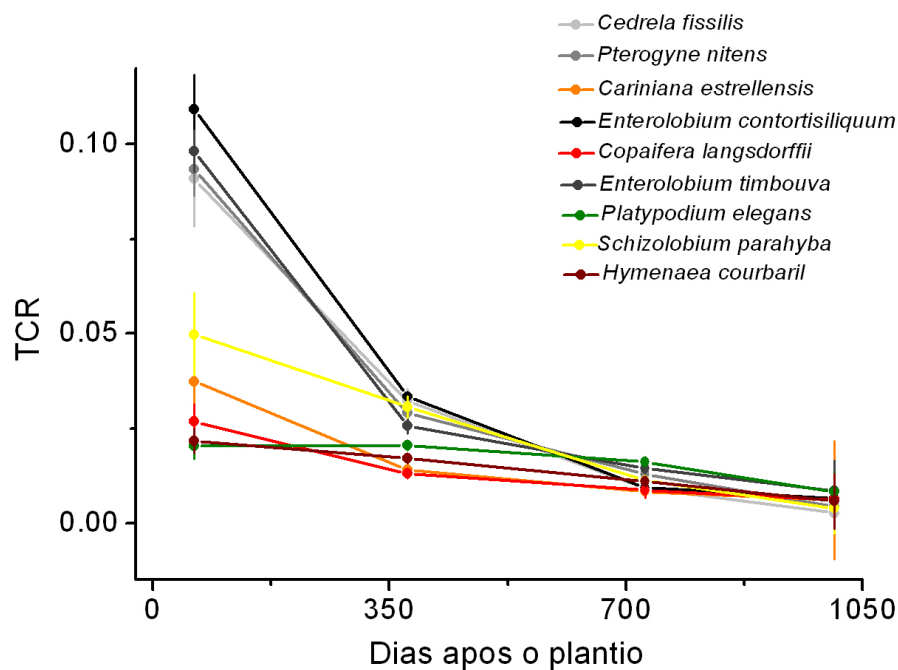


Figura 4 – Taxa de crescimento relativo em diâmetro (cm) (TCR) de cada espécie no campo ao longo do tempo. Cada espécie está representada por uma linha, cada ponto representa as médias e erro das TCR por parcela em cada intervalo de tempo (da esquerda para direita: IT I, II, II, IV). As espécies estão organizadas de forma crescente em relação a massa média da semente na legenda da figura.

De forma geral, todas as espécies tiveram altas taxas de sobrevivência, mesmo *C. langsdorffii*, que apresentou a menor taxa ($0,54 \pm 0,07$) no fim do terceiro ano após o plantio na área. As espécies de sementes maiores como *E. contortisiliquum*, *E. timbouva*, *P. elegans* e *H. courbaril* alcançaram taxas de sobrevivência acima de 95% ao final do terceiro ano de plantio. As espécies com maior variação de sobrevivência em relação à parcela foram *C. fissilis*, *C. estrellensis* e *C. langsdorffii*, as quais apresentaram as menores taxas de sobrevivência e, com exceção de *C. langsdorffii*, eram também as espécies de menor massa de semente. O período de maior mortalidade para *C. fissilis* e *C. langsdorffii* foi o segundo intervalo de tempo, que corresponde ao começo da primeira estação seca até o plantio completar um ano, e para *C. langsdorffii* também ocorreu queda na sobrevivência no terceiro ano. Já para *C. estrellensis* a sobrevivência decaiu de forma constante durante todo o período de estudo (Figura 5).

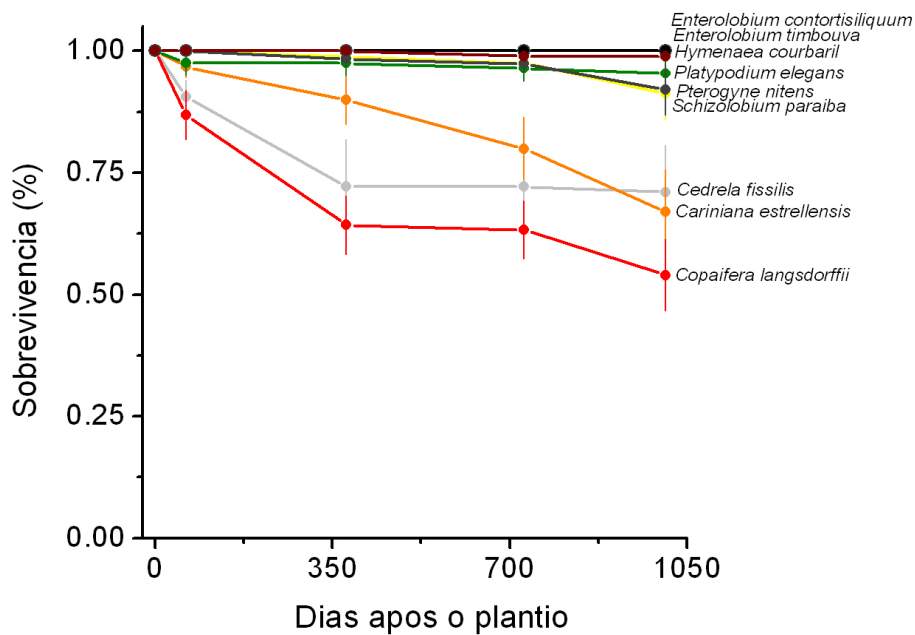


Figura 5 – Taxa de sobrevivência média de cada espécie no campo ao longo do tempo. Cada espécie está representada por uma linha, cada ponto representa as médias e as barras o erro das taxas de sobrevivência por parcela em cada intervalo de tempo (da esquerda para direita: Plantio em campo, IT I, II, III e IV).

Solo

As propriedades granulométricas do solo corresponderam as classes texturais franco arenosa e areia franca, revelando um solo essencialmente arenoso em toda área. A ACP mostrou que as propriedades químicas do solo diferiram entre as parcelas (Figura 6). Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 84,6% da variação das propriedades químicas, sendo que o eixo 1 da ACP explicou 64,3% da variação total e o eixo 2 explicou 20,3% da variação total (Figura 6). O primeiro eixo (1) foi positivamente correlacionado com o N, CTC, MO, P, pH e K. Enquanto que o segundo eixo (2) foi fortemente correlacionado com a acidez potencial (H+Al), e fracamente correlacionado com o K, pH e P (Figura 6).

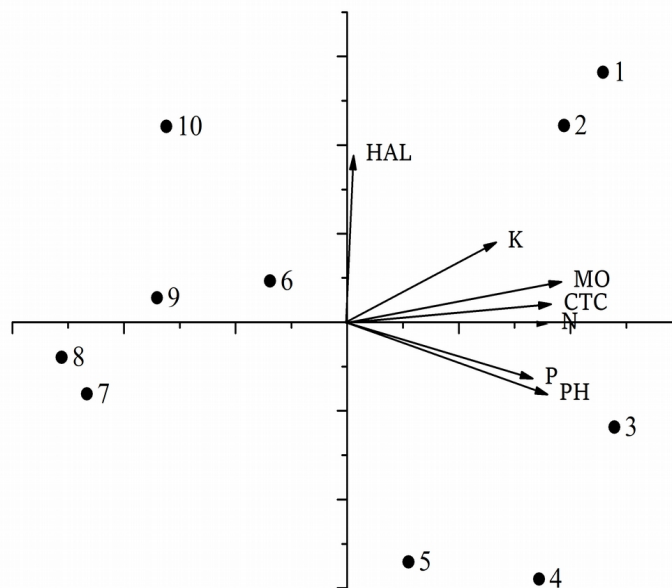


Figura 6 - Análise de Componentes Principais dos parâmetros químicos do solo. Os vetores representam os parâmetros: pH, Matéria Orgânica (MO), Fósforo disponível (P), Concentração total de Nitrogênio (N), Potássio trocável (K), Hidrogênio e Alumínio (H+Al) e Capacidade de troca de cátions (CTC). Os pontos representam as dez parcelas que compõem a área experimental.

Modelo conceitual

De forma geral, ao longo dos três anos de restauro, 11% a 52% da variação no crescimento foi explicada pela massa de semente, diâmetro da planta, fertilidade e acidez potencial do solo, e 14% a 33% da variação na sobrevivência foi explicada massa da semente, acidez potencial do solo e diâmetro da planta.

No primeiro intervalo de tempo, que correspondeu ao período entre o 15º dia após o transporte para a área experimental até o fim da primeira estação chuvosa, a massa da semente explicou 51% da variação no diâmetro inicial das plantas, portanto sementes maiores deram origem a plantas maiores. A massa de semente, o diâmetro inicial da planta e solo 1 explicaram juntos 48% da variação no crescimento das plantas. O efeito direto da massa da semente no crescimento foi negativo e mais intenso do que o efeito indireto, via tamanho inicial das plantas que teve um efeito positivo (Figura 7). As sementes grandes geraram indivíduos maiores cujas taxas de crescimento relativo foram mais altas do que das plantas de menor porte. Entretanto o efeito negativo e direto do tamanho das sementes no crescimento, foi mais intenso do que o efeito positivo do diâmetro inicial. Neste período, o solo 1 também teve um efeito positivo direto no

crescimento (Figura 7), indicando que solos com maiores CTC, MO, macronutrientes e valores mais altos de pH favoreceram o crescimento das plantas neste período.

A sobrevivência foi influenciada positivamente pela massa de semente e tendeu a ser influenciada negativamente por solo 2, sugerindo apenas uma tendência de que solos com maiores quantidades de acidez potencial (H+AL) contribuem para uma maior mortalidade das plantas. Essas duas variáveis explicaram 14% da variação na sobrevivência (Figura 7).

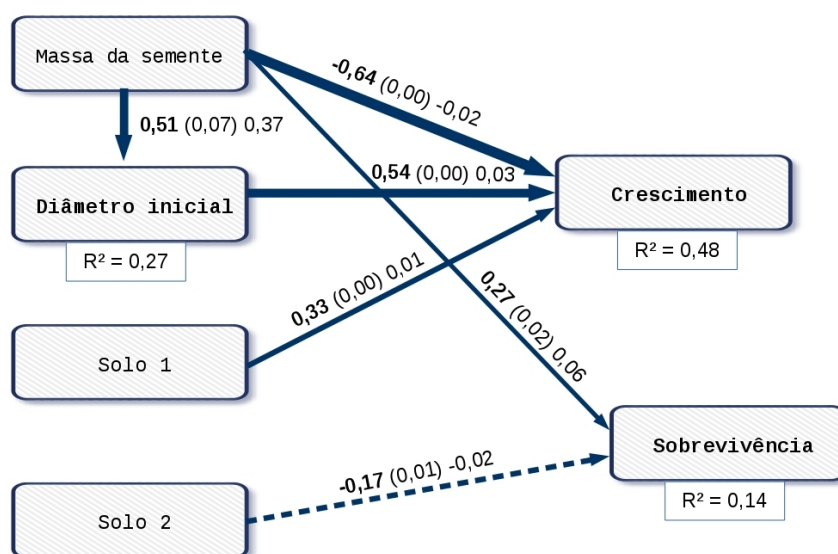


Figura 7 – Modelo geral para o intervalo de tempo I. As setas indicam apenas as relações entre as variáveis respostas e explanatórias que foram significativas ($p < 0,05$), a espessura da reta representa o valor das estimativas estandarizadas. A seta tracejada indica a relação que apresentou tendência a ser significativa ($p < 0,1$). Em negrito as estimativas estandarizadas, seguidas pelo erro padrão entre parênteses e coeficientes path não estandarizados.

No intervalo de tempo II, que correspondeu ao fim da primeira estação chuvosa até o restauro completar um ano, o diâmetro inicial passou a ser a variável mais relevante, tanto para a sobrevivência quanto para o crescimento. Diâmetro inicial, o solo 1 e a massa da semente explicaram 52% da variação no crescimento. O efeito do diâmetro inicial e do solo 1 foram positivos e mais intensos no crescimento das plantas do que a influência negativa da massa da semente (Figura 8). Não houveram correlações entre as variáveis independentes. 23% da variação na sobrevivência das plantas foi

explicada pelo diâmetro inicial e pela massa de semente sendo que o efeito do diâmetro inicial foi mais forte quando comparado ao efeito da massa da semente (Figura 8).

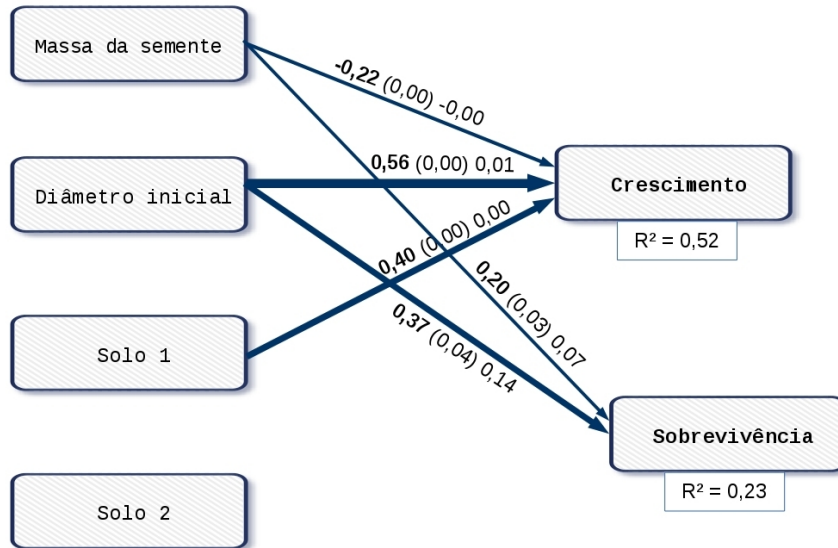


Figura 8 – Modelo geral para o intervalo de tempo II. As setas indicam apenas as relações entre as variáveis respostas e explanatórias que foram significativas ($p < 0,05$), a espessura da reta representa o valor das estimativas estandarizadas. Em negrito as estimativas estandarizadas, seguidas pelo erro padrão entre parênteses e coeficientes path não estandarizados.

No intervalo de tempo III, que correspondeu ao segundo ano após a introdução das mudas na área experimental, apenas 11% da variação no crescimento foi explicada pela relação significativa com a massa de semente. A quantificação do efeito do solo 1 mostrou um valor marginal (Figura 9). A sobrevivência foi influenciada diretamente pelo diâmetro inicial e 15% da sua variação foi explicada por essa variável. Houve correlação entre o diâmetro e o solo 1, que representa o primeiro eixo da análise de componentes principais (ACP) (Figura 9).

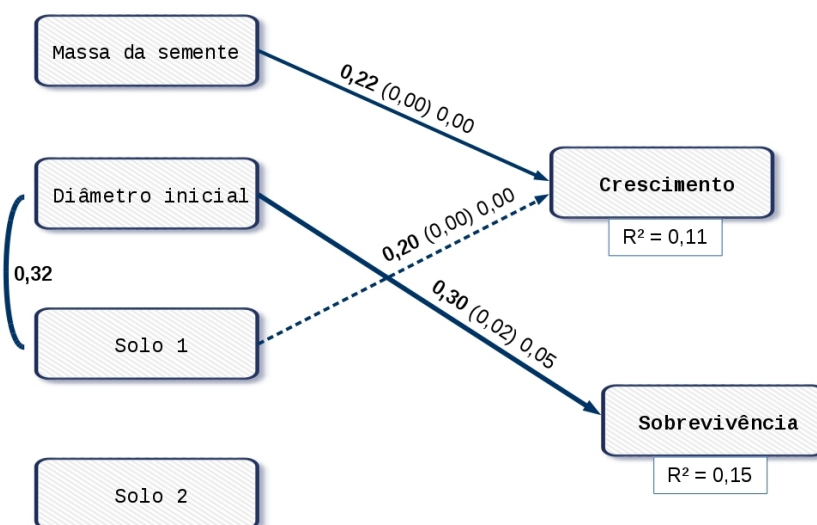


Figura 9 – Modelo geral para o intervalo de tempo III. As setas indicam apenas as relações entre as variáveis respostas e explanatórias que foram significativas ($p < 0,05$), a espessura da reta representa o valor das estimativas estandarizadas. A seta tracejada indica a relação que apresentou tendência a ser significativa ($p < 0,1$). Em negrito as estimativas estandarizadas, seguidas pelo erro padrão entre parênteses e coeficientes path não estandarizados.

No intervalo de tempo IV, que correspondeu ao terceiro ano após a introdução das mudas na área experimental, o crescimento foi influenciado somente pelo solo 2, explicando 41% da variação nos dados. A influência de solo 2 foi negativa, indicando que a acidez potencial reduziu as taxas de crescimento das plantas. O diâmetro inicial influenciou positivamente e solo 2 tendeu a influenciar negativamente a sobrevivência. Essas duas variáveis juntas explicaram 33% da variação na sobrevivência. A correlação entre solo 1 e diâmetro inicial, que iniciou no intervalo de tempo III, se manteve (Figura 10). Ou seja, as concentrações de CTC, MO, macronutrientes do solo e valores mais altos de pH influenciaram positivamente o diâmetro no segundo e terceiro ano após a introdução das plantas na área experimental.

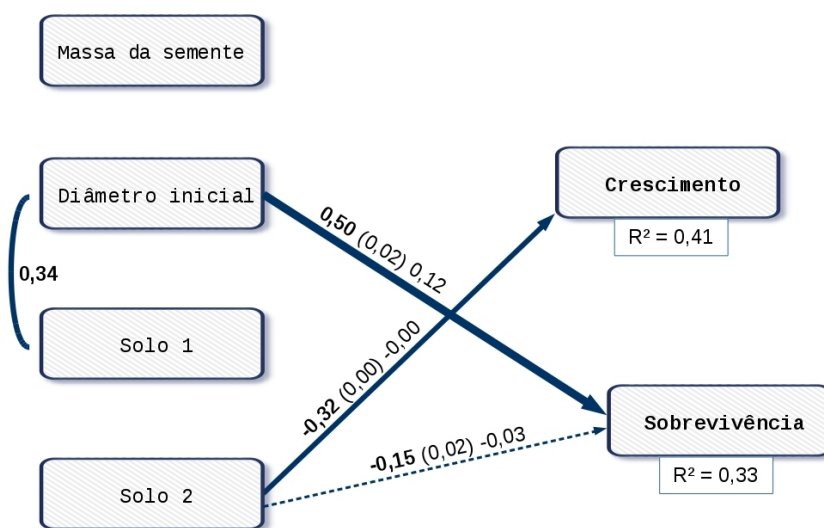


Figura 10 – Modelo geral para o intervalo de tempo IV. As setas indicam apenas as relações entre as variáveis respostas e explanatórias que foram significativas ($p < 0,05$), a espessura da reta representa o valor das estimativas estandarizadas. A seta tracejada indica a relação que apresentou tendência a ser significativa ($p < 0,1$). Em negrito as estimativas estandarizadas, seguidas pelo erro padrão entre parênteses e coeficientes path não estandarizados.

DISCUSSÃO

Desempenho das espécies

O crescimento de todas as espécies reduziu ao longo do tempo (Figura 4), mas este padrão diferiu entre as espécies ($F = 20.505$, $p < 0,001$). A sobrevivência das espécies utilizadas no estudo foi alta, considerando que seis das nove espécies tiveram mais de 92% de sobrevivência e a espécie com maior mortalidade teve 54% de média de sobrevivência por parcela ao fim do terceiro ano de plantio (Figura 5).

C. fissilis ou cedro-rosa é a espécie com a menor massa média de semente entre as espécies selecionadas para a restauração da área ripária. Não é uma espécie considerada pioneira, mas apresenta um crescimento rápido (Barbosa *et al.*, 2015) e no presente estudo ficou no grupo de espécies com maior crescimento durante o primeiro ano após o plantio. A taxa de sobrevivência final foi 71%, com aumento da mortalidade principalmente no primeiro ano de introdução na área experimental. Atribuímos parte da mortalidade dessa espécie ao ataque da broca-do-cedro (*H. grandella*).

P. nitens ou amendoim-do-campo possui diferentes classificações em relação ao grupo sucessional na literatura (Lorenzi, 2002; Carvalho, 2003), enquanto para

alguns autores essa espécie possui um crescimento lento a moderado, para outros é considerada como pioneira em sítios degradados e arenosos. Amendoim-do-campo ficou entre as espécies de maior crescimento na área experimental durante o primeiro ano, o que pode ser atribuído à análise das propriedades físicas do solo que revelaram um solo arenoso na área e também à sua semente pequena. Sua sobrevivência final foi alta (91%).

C. estrellensis não é uma espécie considerada pioneira (Barbosa *et al.*, 2015) e mesmo com a terceira menor semente, o jequitibá-branco teve um crescimento que variou entre lento e moderado em relação às outras espécies. A taxa de sobrevivência caiu constantemente durante o período de estudo, finalizando com 67%. Segundo Carvalho (2003), as condições ambientais ideais para o desenvolvimento de jequitibá-branco são solos profundos, férteis, com textura areno-argilosa a argilosa e devem ser evitados solos muito arenosos e pouco drenados. As propriedades físicas do solo podem ter afetado seu desenvolvimento, gerando um crescimento mais lento e mortalidade mais alta do que em condições ideais.

E. contortisiliquum e *E. timbouva* tiveram taxas de crescimento altas inicialmente e 100% de sobrevivência final. Ambas as espécies são consideradas pioneiras (Barbosa *et al.*, 2015). Mesmo em solo arenoso com variação nas propriedades químicas o crescimento em diâmetro foi rápido, principalmente no primeiro ano para *E. contortisiliquum* e no segundo e terceiro ano para *E. timbouva*. Carvalho (2008) classifica o crescimento de *E. timbouva* como moderado, mas ressalta que há poucos dados sobre seu desenvolvimento em campo.

A espécie com maior mortalidade (46%) foi *C. langsdorffii*, sendo que o primeiro ano e o terceiro ano após o plantio foram os períodos mais críticos. Assim como em Carvalho (2003), o crescimento de copaíba variou entre lento e moderado.

P. elegans apresentou a menor taxa de crescimento inicial sob as condições da área experimental. No segundo e terceiro ano, *P. elegans* ficou no grupo com maior crescimento. A sobrevivência do jacarandá-do-campo após os três anos de plantio foi alta (95%).

Apesar de possuir a segunda maior massa de semente entre as espécies utilizadas e ser caracterizada como espécie de crescimento rápido por Lorenzi (2002), *Schizolobium parahyba* ou Guapuruvu apresentou um crescimento que variou entre

lento e moderado. É classificada como pioneira por Barbosa *et al.* (2015). A taxa de sobrevivência final foi 92%.

A espécie com maior massa de semente do presente estudo é *Hymenaea courbaril* ou jatobá e, assim como aponta a literatura (Carvalho, 2003; Lorenzi, 2002), seu crescimento foi lento a moderado. A sobrevivência da espécie está entre as mais altas, com taxa de 98%.

Influência do solo e do tamanho de semente na performance

As propriedades químicas associadas ao primeiro eixo da ACP (solo 1) foram relacionados com uma melhor qualidade ou fertilidade do solo, devido à forte relação entre esse eixo e a concentração de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), capacidade de troca catiônica (CTC), teor de matéria orgânica (MO) e pH. Os nutrientes minerais tem funções específicas e essenciais para o metabolismo das plantas. O nitrogênio, fósforo e potássio são macronutrientes requeridos para o crescimento e desempenham importantes funções na atividade enzimática, constituição de proteínas, aquisição energética, constituição dos ácidos nucleicos, manutenção dos níveis hídricos e estruturação dos tecidos de plantas (Aerts e Chapin, 1999). A capacidade de troca de catiônica (CTC) considera todos os cátions permutáveis do solo, incluindo cátions potencialmente tóxicos como alumínio e hidrogênio, e cátions essenciais, que caracterizam solos como nutricionalmente favoráveis (Ronquim, 2010). Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável, mas uma interpretação mais precisa dos valores de CTC das amostras de solo requer relações com outros parâmetros, como o pH, assim como a matéria orgânica (Ronquim, 2010).

A matéria orgânica contribui para a disponibilização de recursos nutricionais para plantas, manutenção da biota edáfica e das propriedades físicas do solo como a estrutura, conteúdo de água e temperatura (Palm *et al.*, 1997). A presença de bactérias e fungos é responsável pela biodegradação da matéria orgânica morta, este processo forma ácidos húmicos que tornam a terra mais porosa e facilitam a entrada de água e ar no solo (Ronquim, 2010). A complexidade da interação solo-planta que a matéria orgânica gera varia de acordo com a quantidade, qualidade e frequência de aporte dessa biomassa (Vezzani e Mielniczuk, 2009).

O pH é um importante indicador biológico-físico-químico do solo. Solos com baixos valores de pH, ácidos, podem apresentar pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente), elevado teor de alumínio tóxico, excesso de manganês, alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes (Ronquim, 2010).

O segundo eixo da ACP (Solo 2) representou majoritariamente a variação da quantidade de acidez potencial, que pode ser considerado favorável ou desfavorável ao crescimento de plantas dependendo de outras propriedades do solo, como CTC e pH. O íon alumínio no solo é frequentemente considerado prejudicial para culturas, no entanto, algumas espécies nativas, especialmente do cerrado, podem ser tolerantes ao alumínio (Haridasan, 2000). O óxido de alumínio é frequentemente registrado no solo tropical, o que determina se sua influência nas plantas é negativa é a porcentagem de alumínio trocável em relação a CTC efetiva (Ronquim, 2010). Valores baixos de CTC e pH acompanhados de altas concentrações de alumínio podem causar crescimento limitado devido à indisponibilidade recursos minerais (Scholten *et al.*, 2017).

A análise do modelo conceitual mostrou que, como esperado, as propriedades do solo influenciaram significativamente o crescimento e a sobrevivência das nove espécies inseridas em área ripária visando a restauração. Sendo que as propriedades químicas associadas à fertilidade do solo influenciaram positivamente no crescimento, enquanto a concentração de acidez potencial influenciou negativamente o crescimento e tendeu a influenciar negativamente a sobrevivência. A influência positiva da fertilidade no solo no crescimento possivelmente gerou uma posterior correlação entre diâmetro e fertilidade do solo. O crescimento de 94 espécies arbóreas em sub-bosque de floresta tropical na Costa Rica foi avaliado por Holste *et al.* (2011) o durante 9 anos, desde o estágio de plântulas e mostrou que o crescimento de 48% das espécies foi influenciado pelos nutrientes do solo, principalmente pelo CTC, nitrogênio e fósforo.

Russo *et al.* (2005) avaliaram a performance de espécies arbóreas tropicais em 52 ha de floresta nativa durante cinco anos, e seus resultados sugeriram que a distribuição espacial de 73% das espécies foi determinada pela fertilidade e granulometria do solo, além da topografia. Estes autores mostraram que a influência do solo na performance das plantas variou de acordo com a classe sucessional das espécies, o crescimento das espécies pioneiras e a mortalidade de pioneiras e não pioneiras foi correlacionado com a fertilidade do solo. Segundo Holste *et al.* (2011) e Russo *et al.* (2005), o mecanismo de distribuição espacial deve envolver a vantagem de alcançar

uma sobrevivência relativamente alta em solos pobres e altas taxas de crescimento em solos ricos.

Espécies consideradas pioneiras e de crescimento rápido tendem a possuir sementes pequenas (Kageyama e Gandara, 2001). Considerando que as diferentes propriedades do solo podem resultar em diferentes performances (Ehleringer e Sandquist, 2006), a análise e tratamento prévio do solo pode melhorar a performance das espécies arbóreas tropicais introduzidas em áreas degradadas. A adição de matéria orgânica como tratamento pré-plantio em mudas pode aumentar o desempenho de espécies arbóreas nativas, superando o tratamento químico (Beltran, 2017). Palm *et al.* (1997) sugerem que a incorporação de matéria orgânica no solo, deve ser considerada como um fertilizante completo porque auxiliam na estrutura física do solo e liberam os nutrientes em proporções e taxas requeridas para um solo saudável. Técnicas eficientes e economicamente viáveis como a incorporação de matéria orgânica, através do uso de esterco, adubação verde e cobertura com matéria seca por exemplo (Macedo *et al.*, 2008; Palm *et al.*, 1997), podem incentivar a prática da restauração.

A massa da semente também influenciou significativamente o crescimento e a sobrevivência das nove espécies inseridas em área ripária visando a restauração, como esperado. A força da influência negativa da massa de semente no crescimento reduziu ao longo do primeiro ano após o plantio e, contrariando nossas expectativas, tornou-se positiva no segundo ano. Houve influência positiva na sobrevivência até o primeiro ano, as sementes grandes tiveram maiores probabilidades de sobrevivência durante esse período. A massa da semente é um dos traços funcionais mais importantes na variação da performance das plantas sob diferentes condições ambientais (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013; Violle *et al.*, 2007). Visser *et al.* (2016) avaliou traços funcionais e sua influência na reprodução, produção de sementes, estabelecimento, crescimento e sobrevivência de 136 espécies tropicais no Panamá e mostrou uma relação inversa da massa de semente com a taxa de crescimento das plântulas, as espécies que possuem semente pequena cresceram mais rapidamente do que as espécies que possuem semente grande, mas esse efeito diminuiu com o tempo. A relação negativa entre tamanho ou massa de semente com o crescimento e positiva com a sobrevivência também foi registrada por Baraloto *et al.* (2005). Os pesquisadores avaliaram os efeitos da massa de semente entre e dentro de espécies, desde a semente até cinco anos de idade, em um experimento de campo na Guiana Francesa. Entre as espécies, as plantas oriundas de

sementes pequenas cresceram mais rapidamente a partir do primeiro ano até o quinto ano de idade. E, desde a germinação até os 5 anos de idade, as espécies de semente grande apresentaram maior probabilidade de sobrevivência.

Macera *et al.* (*in press*) sugeriram que a massa de semente é um traço funcional que pode prever as chances de estabelecimento dos indivíduos. A compreensão das diferentes estratégias funcionais de plantas pode aumentar a previsibilidade das respostas das espécies às condições ambientais de áreas degradadas auxiliando nos processos de decisão da escolha das espécies nos projetos de restauração (Sandel *et al.*, 2011).

Performance das plantas ao longo do tempo

Os resultados mostraram que as influências e interações estabelecidas pelo modelo conceitual se alteraram ao longo do tempo. A massa de semente explicou a maior parte da variação no diâmetro inicial no primeiro intervalo de tempo, as sementes grandes geraram plântulas maiores. No mesmo período, a significativa influência do diâmetro inicial no crescimento foi positiva, ou seja, as plantas que foram transplantadas na área experimental com maior tamanho cresceram mais do que plantas menores. Como abordado anteriormente, a massa de semente influenciou o crescimento em diâmetro até o segundo ano após o plantio. A análise do modelo estrutural mostrou uma influência negativa da semente no crescimento durante o primeiro ano de introdução na área (IT I e II), sendo que a força da influência era maior nos primeiros meses (IT I). No segundo ano (IT III), a massa de semente passou a influenciar de forma positiva e após esse período não influenciou mais o crescimento. Observando o crescimento por espécie ao longo do tempo (Figura 4) nota-se que as espécies que possuem sementes menores cresceram mais durante o primeiro ano em campo (IT I e II). No segundo ano, o crescimento das espécies que inicialmente tinham as maiores TCR reduz ao ponto de se tornarem menores do que o crescimento de espécies que inicialmente tinham menores TCR. Esse fato é coerente com a relação positiva entre crescimento e massa de semente no modelo conceitual de IT III. O crescimento das espécies de semente pequena é maior durante o primeiro ano, mas reduz muito no segundo ano, enquanto as espécies de semente grande e crescimento lento, mantêm seu crescimento com pouca variação, superando o crescimento das sementes pequenas em IT III. No terceiro ano após o plantio (IT IV), o crescimento de todas as espécies continua reduzindo tendendo a uma estabilização, o que refletiu na ausência de relação entre massa de semente e

crescimento no modelo conceitual de IT IV. Gibert *et al.* (2016) mostrou através de uma meta-análise, envolvendo 103 estudos, uma relação negativa entre massa de semente e taxa de crescimento relativo das plântulas e essa relação também desapareceu ao longo do tempo. Os autores sugerem que as estratégias de crescimento das plantas não são fixas ao longo de toda a história de vida.

A influência da massa de semente na sobrevivência foi positiva durante o primeiro ano de introdução na área (IT I e IT II) e, assim como no crescimento, a força da influência era maior nos primeiros meses (IT I). Mesmo com as altas taxas de sobrevivência durante o estudo (Figura 5), espécies com sementes pequenas tiveram menores probabilidades de sobrevivência no primeiro ano após o plantio em campo.

O diâmetro inicial da planta no início do intervalo de tempo influenciou o crescimento durante o primeiro ano de introdução (IT I e IT II). Quanto maior a planta, maior a taxa de crescimento relativo em diâmetro durante esse período. As plantas maiores também tiveram maiores chances de sobrevivência a partir da primeira estação seca até o terceiro ano de introdução na área de restauro (IT II, III, IV). Plantas maiores possuem um sistema radicular mais desenvolvido aumentando as taxas de aquisição de nutrientes abaixo do solo (Padilla e Pugnaire, 2007). No entanto, essa relação pode não ter sido significativa nos primeiros meses (IT I), uma vez que coincidiram com a estação chuvosa e nesse período a mortalidade das plantas foi pequena.

A importância do tamanho da planta para a sobrevivência tem sido analisada em florestas tropicais (Baraloto *et al.*, 2005; Wright *et al.*, 2010) e temperadas (Jager *et al.*, 2015; Kunstler *et al.*, 2009). No estudo de Kunstler *et al.* (2009) em todas as espécies, a probabilidade de mortalidade reduziu com o aumento do tamanho em altura. Indivíduos pequenos comumente apresentam maiores taxas de mortalidade, que podem ser ocasionadas devido à maior probabilidade de herbivoria, menor tolerância à danos físicos e baixa disponibilidade de luz (Kunstler *et al.*, 2009; Lusk, 2004). A meta-análise de Gibert *et al.* (2016) mostrou que a trajetória de crescimento da planta é dependente do tamanho, sendo que a correlação entre tamanho de planta e crescimento é previsível.

Baraloto *et al.* (2005) avaliaram os efeitos da massa de semente entre e dentro de espécies, desde a semente até cinco anos de idade, em um experimento de campo na Guiana Francesa, e mostrou que as correlações entre massa de semente e performance foram explicadas em parte porque sementes grandes produziam plântulas de tamanho maior, que tendem a sobreviver mais e crescer mais lentamente. Seus resultados

demonstraram que o tamanho de semente influenciou a performance tanto dentro como entre espécies e os autores atribuíram esse efeito ao tamanho inicial da plântula. Nossos resultados registraram uma relação entre a semente e performance onde as sementes grandes produzem plantas de tamanho maior e cresceram mais lentamente até o final do primeiro ano, mas as maiores plantas cresceram mais neste período alcançando maior probabilidade de sobrevivência desde a primeira estação seca até os três anos de plantio em área de restauro.

A influência do solo no crescimento e na sobrevivência ao longo do tempo foi diferente do que esperávamos. As propriedades associadas à fertilidade do solo, representadas pelo escore do eixo 1 da ACP ou solo 1 no modelo conceitual, não tiveram aumento de sua importância ao longo do tempo para a performance e a fertilidade do solo não influenciou diretamente na sobrevivência. Entretanto, as propriedades químicas associadas ao solo 1 estimularam o maior crescimento das plantas desde a introdução na área até o segundo ano após o plantio (IT I, II e III), não havendo relação ou tendência no terceiro ano (IT IV). A influência positiva da fertilidade do solo no crescimento de plantas, gerando indivíduos mais altos e com troncos mais largos também foi registrada no Panamá, em sítios férteis de floresta tropical (Van Breugel *et al.*, 2011). Uma possível explicação para a ausência de relação entre fertilidade do solo e crescimento das plantas após o segundo ano de plantio (IT III) é que a partir desse momento outros fatores podem ter se tornado mais relevantes, como o clima ou a competição por recursos (luminosidade, água, etc.).

Houve correlação entre o diâmetro inicial do intervalo de tempo e a fertilidade do solo (Solo 1) no segundo e terceiro ano após o plantio (IT III e IT IV). Considerando que solo 1 influenciou o crescimento nos intervalos anteriores, inferimos que solos mais férteis estimularam o crescimento das plantas até o segundo ano, o que gerou a correlação entre tamanho da planta e fertilidade do solo que se tornou significativa a partir do segundo ano após o plantio na área de restauro.

O solo 2 influenciou negativamente o crescimento e sobrevivência. No primeiro IT, solo 2 tendeu a influenciar a sobrevivência e no terceiro ano após o plantio (IT IV) afetou o crescimento e tendeu a afetar a sobrevivência novamente. Concentrações de íons hidrogênio e alumínio, quando associadas a outros parâmetros, podem ter o efeito de retardar o crescimento (Scholten *et al.*, 2017).

Em síntese, a partir dos modelos conceituais onde todas as espécies foram avaliadas conjuntamente, observamos que as espécies de semente menor possuem um crescimento rápido até o primeiro ano em campo, enquanto as espécies de semente maior possuem um crescimento menor inicialmente, mas se mantêm constante até superar as espécies de semente menores no segundo ano de introdução em campo. Espécies de semente grande geraram plantas maiores e alcançaram maiores chances de sobrevivência até o final do primeiro ano. Plantas maiores cresceram mais neste período e alcançaram maiores chances de sobrevivência após o primeiro ano de plantio em campo. A fertilidade do solo estimula o crescimento das plantas resultando em plantas maiores, enquanto a variação da acidez potencial influenciou negativamente a performance em alguns períodos de estudo.

No contexto ambiental da área experimental e para as espécies selecionadas, a massa da semente foi relacionada com o tamanho da planta. O tamanho da planta foi relacionado com uma taxa de crescimento relativo maior no primeiro ano de exposição às condições de campo e, a partir da primeira estação seca, a sobrevivência foi influenciada pelo tamanho inicial. Esta relação corrobora a hipótese de que sementes maiores originam plântulas maiores, com sistemas radiculares e partes aéreas mais desenvolvidas proporcionando maiores taxas de captação de luz, água e nutrientes de solo (Green e Juniper 2004, Soriano *et al.* 2013). Em relação às hipóteses entre massa de semente e performance das plantas (hipótese do efeito reserva, hipótese do tamanho de plântula, hipótese metabólica) (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996), nossos resultados corroboram a hipótese do tamanho de plântula. As sementes grandes geraram indivíduos maiores e o tamanho foi um fator mais importante para a sobrevivência das plantas nos primeiros três anos de reintrodução de espécies arbóreas em campo.

No presente estudo, as espécies de sementes maiores cresceram mais lentamente durante o primeiro ano de vida, apontando também para a hipótese metabólica. Segundo Westoby *et al.* (1996), essa hipótese relaciona a menor taxa de crescimento relativo em sementes grandes à maior resistência a estresses, uma vez que os requerimentos por recursos macronutrientes e água são mais baixos em plantas com menores taxas de crescimento.

Baseado no modelo proposto por Muller-Landau (2010), a coexistência de espécies de sementes de vários tamanhos numa comunidade é possível porque enquanto sementes maiores tem uma maior probabilidade de sobrevivência especialmente sob

condições ambientais estressantes, espécies de sementes menores são produzidas em maior número. Com um número grande de sementes produzidas e mais facilmente dispersas, estas espécies alcançam um maior número de microsítios aumentando as chances de se estabelecer em microsítios mais favoráveis. Além disto, espécies de sementes menores tem uma maior taxa de crescimento, especialmente no início de seu desenvolvimento, aumentando as chances de estabelecimento. Assim a heterogeneidade espacial nas condições ambientais permitiria a coexistência de espécies de diferentes tamanhos de semente. Em condições ambientais mais favoráveis, as diferenças de performance entre espécies de sementes grandes e espécies de sementes pequenas não são tão evidentes (Baraloto *et al.*, 2005; Lebrija-trejos *et al.*, 2016).

CONCLUSÃO

Este estudo sintetizou alguns dos mecanismos que influenciam a performance de nove espécies arbóreas nativas introduzidas como mudas visando a restauração de uma área ripária. A complexidade das relações entre plantas e ambiente abiótico registradas aqui aprofundam a compreensão acerca da performance de espécies e a dinâmica de vegetações nativas ao longo do tempo.

Durante os três anos após o plantio das espécies em campo, a massa da semente e as propriedades químicas do solo influenciaram diretamente e indiretamente, via tamanho inicial, o crescimento e a sobrevivência das plantas. A estratégia de crescimento das espécies variou de acordo com a massa de semente, com influência do tamanho da planta, da fertilidade e da acidez potencial do solo. A sobrevivência foi influenciada pela massa de semente, pelo tamanho da planta e pela acidez potencial do solo. As interações entre estas variáveis e a intensidade das influências variaram ao longo do tempo.

Nossos resultados corroboram com a hipótese do tamanho de planta e hipótese metabólica (Leishman *et al.*, 2000; Westoby *et al.*, 1996). O tamanho da semente influenciou o tamanho das plantas e o crescimento, onde plantas de semente grande geraram indivíduos maiores e cresceram mais lentamente, e a maior estatura aumentou as probabilidades de sobrevivência. No entanto, para avaliar a hipótese efeito reserva necessitaríamos de uma análise das reservas de semente e sua translocação no desenvolvimento da planta.

No intuito de desenvolver estratégias de restauração e conservação da biodiversidade de florestas tropicais, nossos resultados sugerem que as características funcionais das espécies arbóreas tropicais, tal como o tamanho de semente, podem indicar possíveis respostas da performance da planta ao ambiente a qual ela será inserida. Além disso, a análise das condições de solo pode ajudar na escolha das espécies capazes de se estabelecer numa determinada área, e na quantidade de indivíduos por espécie que é necessária para aumentar a diversidade das comunidades vegetais a serem estabelecidas. Tratamentos prévios para aumentar a qualidade do solo, como a incorporação de matéria orgânica, podem melhorar o desempenho das plantas utilizadas na reintrodução de espécies arbóreas nativas em áreas degradadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R., Chapin, F.S., 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*. 30, 1-67.
- An, S., Zheng, F., Zhang, F., Van Pelt, S., Hamer, U., Makeschin, F., 2008. Soil quality degradation processes along a deforestation chronosequence in the Ziwouling area, China. *Catena*. 75, 248-256.
- Angeli, A., 2005. Identificação de espécies florestais: *Cedrela fissilis* (cedro) IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, Piracicaba. <http://www.ipef.br> (Acesso em 21.01.2017)
- Balsan, R., 2006. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. *Campo-território: revista de geografia agrária*. 1, 123-151.
- Baraloto, C., Forget, P.M., Goldberg, D.E., 2005. Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. *Journal of Ecology*. 93, 1156–1166.
- Barberis, I.M., e Dalling, J.W., 2008. The effect of light, seed size and biomass removal on cotyledon reserve use and root mass allocation in *Gustavia superba* seedlings. *Journal of Tropical Ecology*. 24, 607-617.
- Barbosa, L.M., Martins, S.E., 2003 *Diversificando o reflorestamento no Estado de São Paulo: espécies disponíveis por região e ecossistema*, São Paulo: Instituto de Botânica.
- Barbosa, L.M, Shirasuna, R.T., Lima, F.C., Ortiz, P.R.T., 2015 *Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica, São Paulo - SP.*
- Bloor, J.M., e Grubb, P.J., 2003. Growth and mortality in high and low light: trends among 15 shade-tolerant tropical rain forest tree species. *Journal of ecology*. 91, 77-85.
- Calderano Filho, B., Santos, H.D.S., da Fonseca, O.O.M., Primavesi, O., Primavesi, A.C., 1998. Os solos da Fazenda Canchim, Centro de pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: levantamento semidetalhado, propriedade e potenciais. *Embrapa-CPPSE, Boletim de Pesquisa*, 2, Embrapa-CNPS.

- Carvalho, P.E.R., 2003. Espécies Arbóreas Brasileiras, vol 1. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF.
- Carvalho, P.E.R., 2008. Espécies Arbóreas Brasileiras, vol 3. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF.
- Dalling, J.W., Hubbel, S. P., 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*. 90, 557–568.
- Díaz, S., Lavorel, S., Chapin III, F.S., Tecco, P.A., Gurvich, D.E., e Grigulis, K., 2007. Functional diversity - at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters, in: Canadell, J. G., Pataki, D. E., Pitelka, L. F. (eds), *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 81-91.
- Doust, S.J., Erskine, P.D., Lamb, D., 2008. Restoring rainforest species by direct seeding: tree seedling establishment and growth performance on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management*. 256, 1178-1188.
- Ehleringer, J.R., Sandquist, D.R., 2006. Ecophysiological constraints on plant responses in a restoration setting, in: Falk, D. A., Palmer M., Zedler, J. B. (eds), *Foundations of Restoration Ecology*. Island Press, New York, pp 42–58.
- Embrapa, 1997. Manual de métodos de análise do solo. Embrapa, Rio de Janeiro.
- Gibert, A., Gray, E.F., Westoby, M., Wright, I.J., e Falster, D.S., 2016. On the link between functional traits and growth rate: meta-analysis shows effects change with plant size, as predicted. *Journal of Ecology*. 104, 1488-1503.
- Beltran, L.A.D.G, 2017. A interação entre a fertilidade do solo e a massa da semente influencia os atributos funcionais de espécies arbóreas tropicais? Dissertação – Programa de pós graduação em ciências ambientais, UFSCar.
- Green, P.T., Juniper, P.A., 2004. Seed–seedling allometry in tropical rain forest trees: seed mass-related patterns of resource allocation and the ‘reserve effect’. *Journal of Ecology*. 92, 397-408.
- Hall, J.S., Ashton, M.S., Garen, E.J., Jose, S., 2011. The ecology and ecosystem services of native trees: implications for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*. 261, 1553–1557.

- Hallett, L.M., Standish, R.J., Hobbs, R.J., 2011. Seed mass and summer drought survival in a Mediterranean-climate ecosystem. *Plant Ecology*. 212, 1479.
- Haridasan, M., 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 12, 54-64.
- Harper, J.L., Lovell, P.H., Moore, K.G., 1970. The shapes and sizes of seeds. *Annual review of ecology and systematics*. 1, 327-356.
- Hobbs, R.J., Norton, D.A., 2004. Ecological filters, thresholds and gradients in resistance to ecosystem reassembly, in: Temperton, V., Hobbs, R.J., Halle, R.J., Fattorini, M. (eds), *Assembly rules and ecosystem restoration*. Island Press, Washington, pp. 72–95
- Holste, E.K., Kobe, R.K., Vriesendorp, C.F., 2011. Seedling growth responses to soil resources in the understory of a wet tropical forest. *Ecology*. 92, 1828-1838.
- Jager, M.M., Richardson, S.J., Bellingham, P.J., Clearwater, M.J., Laughlin, D.C., 2015. Soil fertility induces coordinated responses of multiple independent functional traits. *Journal of Ecology*. 103, 374-385.
- Jankowsky, I.P., Chimelo, J.P., Cavalcante, A.A., Galina, I.C.M., Nagamura, J.C.S., 1990. *Madeiras Brasileiras*, v.1. Spectrum, Caxias do Sul.
- Jöreskog, K.G., Sörbom, D., 2001. LISREL 8.5 for Windows [Computer software]. Lincolnwood, IL: Scientific Software International, Inc.
- Kageyama, P., Gandara, F.B., 2001. Recuperação de áreas ciliares, in: Rodrigues, R.R., Leitão Filho, H.F. (org). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. EDUSP: FAPESP, São Paulo, pp. 249-269.
- Keddy, P.A., 1992. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*. 3, 157-164.
- Khurana, E., Singh, J.S., 2001. Ecology of tree seed and seedlings: implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*. 80, 748-757.
- Kitajima, K., & Poorter, L. (2008) Functional basis for resource niche partitioning by tropical trees. In: Carson, W.P., Schnitzer S.A. (eds), *Tropical forest community ecology*. UK: Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 160–181.

- Kunstler, G., Coomes, D.A., Canham, C.D., 2009. Size-dependence of growth and mortality influence the shade tolerance of trees in a lowland temperate rain forest. *Journal of ecology*. 97, 685-695.
- Lahoreau G., Barot S., Gignoux J., Hoffmann W.A., Setterfield S.A., Williams P.R., 2006. Positive effect of seed size on seedling survival in fire-prone savannas of Australia, Brazil and West Africa. *Journal of Tropical Ecology*. 22, 719–722.
- Larson, J.E., Sheley, R.L., Hardegree, S.P., Doescher, P.S., James, J.J., 2015. Seed and seedling traits affecting critical life stage transitions and recruitment outcomes in dryland grasses. *Journal of applied ecology*. 52, 199-209.
- Lebrija-Trejos, E., Reich, P.B., Hernández, A., Wright, S.J., 2016. Species with greater seed mass are more tolerant of conspecific neighbours: a key driver of early survival and future abundances in a tropical forest. *Ecology Letters*. 19, 1071-1080.
- Leishman, M.R., Wright, I., Moles, A.T. & Westoby, M., 2000. The evolutionary ecology of seed size, in: Fenner, M. (eds), *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CABI Publishing, Wallingford-UK, pp. 31–57.
- Lusk, C.H., 2004. Leaf area and growth of juvenile temperate evergreens in low light: species of contrasting shade tolerance change rank during ontogeny. *Functional Ecology*. 18, 820–828.
- Lorenzi, H., 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*, 4 ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
- Macera; L.G; Pereira, S. R.; Souza, A. L. T. (*in press*) Survival and growth of tree seedlings as a function of seed size in a gallery forest under restoration. *Acta Botanica Brasilica*.
- Manning, P., Houston, K., Evans, T., 2009. Shifts in seed size across experimental nitrogen enrichment and plant density gradients. *Basic and applied ecology*, 10, 300-308.
- Martínez-Garza, C., Bongers, F., Poorter, L., 2013. Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures?. *Forest Ecology and Management*. 303, 35-45.

- Metz, J., Liancourt, P., Kigel, J., Harel, D., Sternberg, M., Tielbörger, K., 2010. Plant survival in relation to seed size along environmental gradients: a long-term study from semi-arid and Mediterranean annual plant communities. *Journal of Ecology*, 98, 697-704.
- Mitchell, R.J., 2001. Path analysis, in: S.M. Scheiner, Gurevitch, J., (eds) *Design and analysis of ecological experiments*. Oxford University Press, Oxford-UK, pp. 217–234
- Moles, A.T., Westoby, M., 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*. 92, 372–383.
- Moles, A.T., Westoby, M., 2006. Seed size and plant strategy across the whole life cycle. *Oikos*. 113 , 91-105.
- Muller-Landau, H.C., Wright, S.J., Calderón, O., Condit, R., Hubbell, S.P., 2008. Interspecific variation in primary seed dispersal in a tropical forest. *Journal of Ecology*. 96, 653-667.
- Muller-Landau, H.C., 2010. The tolerance – fecundity trade off and the maintenance of diversity in seed size. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107, 4242-4247.
- Osunkoya, O.O., Ash, J.E., Hopkins, M.S., Graham, A.W, 1994. Influence of Seed Size and Seedling Ecological Attributes on Shade-Tolerance of Rain-Forest Tree Species in Northern Queensland. *Journal of Ecology*. 82, 149-163.
- Padilla, F.M. e Pugnaire, F.I., 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*. 21,489–495.
- Palm, C.A., Myers, R.J.K., Nandwa, S.M., 1997. Combined Use of Organic and Inorganic Nutrient Sources for Soil Fertility Maintenance and Replenishment, in: Buresh, R.J., Sanchez, P.A., Calhoun, F. (eds), *Replenishing Soil Fertility in Africa*, SSSA Spec. Publ. 51. SSSA and ASA, Madison, WI. pp. 193-217.
- Pereira, S.R., Laura, V.A., Souza, A.L.T., 2013. Establishment of Fabaceae tree species in a tropical pasture: influence of seed size and weeding methods. *Restoration Ecology*. 21, 67-74.

- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E.J., Reich, P.B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J.G., Thompson, K., Morgan, H.D., ter Steege, H., van der Heijden, M.G.A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M.V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S., mas veja se ainda o considera necessário ou Cornelissen, J.H.C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 61, 167-234.
- Philipson, C.D., Dent, D.H., O'Brien, M.J., Chamagne, J., Dzaeman, D., Nilus, R., Philips, S., Reynolds, G., Saner, P., Hector, A., 2014. 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, 3675-3688.
- Poorter, L., e Rose, S.A., 2005. Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia*,. 142, 378-387.
- Poorter, L., Wright, S.J., Paz, H., Ackerly, D.D., Condit, R., Ibarra-Manríquez, G., Harms, K.E., Licona, J.C., Martínez-Ramos, M., Mazer, S.J., Muller-Landau, H., Peña-Claros, M., Webb, C.O., Wright, I.J, 2008. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. *Ecology*. 89, 1908–1920.
- Quero, J. L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., Poorter, L., 2007. Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany*. 94, 1795-1803.
- Raij, B. Van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A., 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico, Campinas.
- Rolim, G.S., Camargo, M.B.P., Lania, D.G., Moraes, J.F.L., 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*. 66, 711-720.

- Ronquim, C.C., 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Monitoramento por Satélite, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Infoteca-E.
- Rossi, T., 2008. Identificação de espécies florestais: *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, Piracicaba. <http://www.ipef.br> (acesso em 21.01.2017)
- Russo, S.E., Davies, S.J., King, D.A., Tan, S., 2005. Soil-related performance variation and distributions of tree species in a Bornean rain forest. *Journal of Ecology*. 93, 879-889.
- Salomão, N.A., 2003. Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília.
- Sandel, B., Corbin, J.D., Krupa, M., 2011. Using plant functional traits to guide restoration: a case study in California coastal grassland. *Ecosphere*. 2, 1-16.
- Santos, R.D., Lemos, R.C., Santos, H.G., Ker, J.C., Aanjós, L.H.C., 2005. Manual de descrição e coleta de solo no campo, 5 ed. Viçosa-MG.
- Schmidt, L., 2008. A review of direct sowing versus planting in tropical afforestation and land rehabilitation. *Development and environment Series*, 10. Forest and Landscape, Copenhagen.
- Scholten, T., Goebes, P., Kühn, P., Seitz, S., Assmann, T., Bauhus, J., Bruelheide, H., Buscot, F., Erfmeier, E., Fischer, F., Härdtle, W., He, J., Ma, K., Niklaus, P.A., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Shi, X., Song, Z., von Oheimb, G., Wirth, C., Wubet, T., Schmidt, K., 2017. On the combined effect of soil fertility and topography on tree growth in subtropical forest ecosystems—a study from SE China, *Journal of Plant Ecology*, 10, 111-127.
- 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.
- Soriano, D., Huante, P., Gamboa-de Buen, A., Orozco-Segovia, A., 2013. Seed reserve translocation and early seedling growth of eight tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. *Plant ecology*. 214, 1361-1375.

- Suding, K.N., Gross, K.L., Houseman, G.R., 2004. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 19, 46-53.
- Systat, 2012. Systat for Windows, Version 13.0. Tangen, B. A., M. G. Bu. Systat Software Inc., Richmond, California.
- Van Breugel, M., Hall, J.S., Craven, D.J., Gregoire, T.G., Park, A., Dent, D.H., Wichnie, M.H, Mariscal, E., Deago, J., Ibarra, D., Cedeño, N., Ashton, M. S., 2011. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management*. 261, 1580-1589.
- Van der Putten, W.H., Bardgett, R.D., Bever, J.D., Bezemer, T.M., Casper, B.B., Fukami, T., Kardol, P., Klironomos, J.N., Kulmatiski, A., Schweitzer, J.A., Suding, K.N., Van de Voorde, T.F.J., Wardle, D.A., 2013) Plant–soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*. 101, 265–276.
- Vezzani, F.M., Mielniczuk, J., 2009. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista brasileira de ciência do solo*. 33, 743-755.
- Viani, R.A., Rodrigues, R.R., Dawson, T.E., Oliveira, R.S., 2011. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. *Plant and soil*, 349, 341-353.
- 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, 882-892.
- Visser, M. D., Bruijning, M., Wright, S.J., Muller-Landau, H.C., Jongejans, E., Comita, L.S., Kroon, H., 2016. Functional traits as predictors of vital rates across the life cycle of tropical trees. *Functional Ecology*. 30, 168-180.
- Westoby, M., Leishman, M., Lord, J., Poorter, H., Schoen, D. J., 1996. Comparative ecology of seed size and dispersal [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 351, 1309-1318.
- Wright, S. J., Kitajima, K., Kraft, N. J., Reich, P. B., Wright, I. J., Bunker, D. E., Condit, R., Dalling, J.W, Davies, S.J., Díaz, S., Engelbrecht, B.M.J., Harms, K.E., Hubbell, S.P., Marks, C.O., Ruiz-Jaen, M.C., Salvador, C.M, Zanne, A.E., 2010. Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. *Ecology*. 91, 3664-3674.

ANEXO

Parcela	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	N
	mg/dm ³	dag/kg	Ca Cl ₂	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	ppm
1	56	3,1	4,9	0,24	1,747	0,702	4,7	2,7	7,4	1700
2	52	2,7	4,8	0,23	2,022	0,923	4,5	3,2	7,7	1600
3	115	2,3	5,1	0,17	3,117	0,986	4,0	4,3	8,3	1700
4	46	2,3	5,2	0,14	2,681	0,782	3,6	3,6	7,2	2000
5	105	1,9	5,1	0,14	1,834	0,520	3,8	2,5	6,3	1050
6	27	1,7	4,6	0,10	1,464	0,598	4,5	2,2	6,7	1300
7	20	1,1	4,4	0,12	1,016	0,350	4,0	1,5	5,5	950
8	21	1,1	4,3	0,14	0,475	0,277	4,0	0,9	4,9	950
9	12	1,3	4,4	0,15	1,753	0,424	4,0	2,3	6,3	1000
10	16	1,6	4,4	0,13	0,673	0,435	4,7	1,2	5,9	1000

Tabela 2 - Resultado da análise das propriedades químicas das amostras de solo retiradas das dez parcelas da área experimental. As propriedades são Fósforo disponível (P), Matéria Orgânica (MO), pH, Potássio trocável (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Hidrogênio e Alumínio (H+Al), Soma de Bases (SB), Capacidade de troca de cátions (CTC) e Concentração total de Nitrogênio (N) seguidas de suas respectivas unidades.



Figura 11 - Foto da produção das mudas no viveiro do Departamento de Botânica - UFSCar.



Figura 12 - Foto após o plantio das mudas na área experimental da Estância Dois Irmãos.



Figura 13 - Foto da área experimental na Estância Dois Irmãos no quarto mês após o plantio das mudas.



Figura 14 - Foto registrando a área experimental na Estância Dois Irmãos após o período de estudo (2015).