

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VIVIANE HELENA PALMA

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS  
DESTINADAS À RECUPERAÇÃO DE APP FLUVIAL E NASCENTE  
INTERMITENTE EM LINHARES, ES.**

CURITIBA

2016

VIVIANE HELENA PALMA

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS  
DESTINADAS À RECUPERAÇÃO DE APP FLUVIAL E NASCENTE  
INTERMITENTE EM LINHARES, ES.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribas Curcio

Co-orientador: Dr. Alexandre Uhlmann

CURITIBA

2016

PALMA, V.H. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas destinadas à recuperação de APP fluvial e nascente intermitente, Linhares, ES.** 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

**ERRATAS**

FOLHA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
17	4	...com temperatura e índice pluviométrico médios	...com temperatura média e soma pluviométrica
17	8	médias	somas mensais
17	10	médias	somas
46	26/27	...com temperatura e índice pluviométrico médios	...com temperatura média e soma pluviométrica
47	3	médias	somas mensais
47	5	médias	somas

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Palma, Viviane Helena

Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas destinadas à recuperação de APP fluvial e nascente intermitente em Linhares, ES / Viviane Helena Palma. – Curitiba, 2016.

86 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribas Curcio

Coorientador: Dr. Alexandre Uhlmann

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 26/02/2016.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Floresta - Restauração. 2. Solos florestais – Linhares (ES). 3. Adubação. 4. Teses. I. Curcio, Gustavo Ribas. II. Uhlmann, Alexandre. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.25



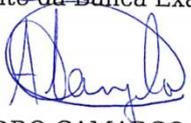
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
Programa de Pós Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL  
Código CAPES: 40001016015P0

### TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **VIVIANE HELENA PALMA**, intitulada: "**Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas destinadas à recuperação de APP fluvial e nascente intermitente em Linhares, ES.**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação.

Curitiba, 26 de Fevereiro de 2016.

  
Prof GUSTAVO RIBAS CURCIO (UFPR)  
(Presidente da Banca Examinadora)

  
Prof ALESSANDRO CAMARGO ANGELO (UFPR)

  
Prof ALEXANDER SILVA DE RESENDE (EMBRAPA)



Dedico a todas e todos aqueles que acreditam na coletividade, contribuem para a saúde do meio que nos cerca e buscam equilíbrio nas ações.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço àquela energia boa que nos circunda por me ajudar a unir forças e ânimo para continuar quando o caminho se apresentava um tanto quanto difícil e tortuoso.

À minha mãe linda e guerreira Vanda Célia da Silva, sou grata por todo o apoio, conversas firmes e também às que me acalmavam e colocavam pra cima; pelo amor e compressão incondicionais, além do auxílio na escrita no nosso português tão cheio de “poréns”.

Agradeço ao Cláudio Antonio Palma, meu pai, que me ensinou por meio de ações o quanto pensar no próximo e na coletividade faz sentido e engrandece a alma. Obrigada por ter me sugerido o caminho da Engenharia Florestal e por todo o apoio nas minhas mais diversas escolhas.

Agradeço à minha irmã Letícia Silva Palma, melhor amiga e parceira de todos os tipos de prosas, por sempre “estar lá”, me ouvir e me ajudar, com toda a serenidade do mundo a enxergar alternativas. Lê você é uma das minhas maiores inspirações!

Ao meu amor, companheiro e amigo Rafael R. de Oliveira, que esteve e está ao meu lado em toda minha jornada acadêmica. Obrigada por compartilhar de todos esses momentos de maneira tão intensa e estar presente quando titubeava, você me fez acreditar mais em mim incontáveis vezes, seu carinho me engrandece!

Agradeço às orientações dos Drs. Gustavo Ribas Curcio e Alexandre Uhlmann, elas me fizeram consolidar conhecimentos, estudar uma montanha de assuntos e aplicá-los em nível de campo e escritório. Agora consigo entender com mais clareza e sobriedade as funcionalidades do tripé solo-água-plantas! Obrigada também pelo carinho, amizade e palavras norteadoras, oras leves, oras difíceis de entender e digerir, mas que auxiliaram na construção da profissional que hoje me tornei (e pretendo sempre aprimorar). Gratidão!

À Dra. Annete Bonnet, Andrea S. Kodama, Marcos R. Wigo e Dr. Renato Dedecek, agradeço pelo bom convívio de cada dia, trabalhos em parceria, amizade, carinho e aprendizados! Ao Roberto S. Ogata e Wagner F. F. Braz, obrigada pelas informações dos plantios, auxílio na manutenção das áreas experimentais e auxílio na tomada de dados. Dra. Michele R. Ramos e M.<sup>e</sup> Éder Caglione, obrigada pelas dicas e auxílio nas diversas atividades ao longo desses anos. Vocês todos são ótimos!

Aos componentes de minha banca examinadora, os Drs. Alexander Silva de Resende, Alessandro Camargo Ângelo e Christopher Thomas Blum, agradeço por todas as considerações, sugestões e correções que muito auxiliaram na conclusão da dissertação. Suas palavras após a defesa deixaram o momento ainda mais feliz. Obrigada!

À minha querida família, de laços fortes e cheia boas energias; às amigas seletas e verdadeiras que venho cultivando ao longo da vida, em especial às de Cabo Verde e Lavras, obrigada pelo apoio e por compreenderem minha ausência em importantes momentos compartilhados ao longo desses anos de mestrado. Vocês são pessoas iluminadas, deixam minha vida mais leve, prazerosa e divertida!

Agradeço a amizade da Ana Paula M. Martins, Jéssica C. Maran e Mariana Stang. Nossa jornada no mestrado só começou uma amizade que promete!

Ao CNPq agradeço pelo auxílio financeiro e à Universidade Federal do Paraná e Embrapa Florestas por todo o apoio.

“Quero viver ao lado de gente humana, muito humana; que sabe rir dos seus tropeços, não se considera eleita antes da hora, não foge da mortalidade e deseja tão somente o que é justo.” Rubem Alves.

## RESUMO GERAL

A recuperação florestal é ação essencial na mitigação de danos causados pela degradação da vegetação e solo às margens dos cursos d'água e nascentes. Dessa forma, atentar ao histórico da área, buscando determinar o tipo, bem como o quão intensa foi a degradação sofrida, além do tipo de solo da área, são análises que determinarão a adoção de metodologias distintas desde o pré-preparo da área, passando pelo plantio, condução e até o monitoramento.

Tendo em vista a degradação das margens fluviais, decretadas como Áreas de Preservação Permanente (APP) pela Lei nº 12.651/12, de nascentes intermitentes, e também seus papéis cruciais na regulação e manutenção de processos hídricos, justifica-se a necessidade de pesquisas que abordem uma visão de recuperação sistêmica pedológica - hídrica – fitotípica destes ambientes. Este trabalho, que descreve um subprojeto do “Projeto Biomas” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), traz a lume resultados que auxiliam na escolha e alocação de espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual - localizada na Mata Atlântica, para recuperar formações florestais sobre Argissolos e Espodossolos da Formação Barreiras em Linhares/ES.

A par dessas considerações, essa pesquisa buscou responder às perguntas: a) Quais espécies, dentre as testadas, apresentaram maiores percentuais de sobrevivência e melhor se desenvolveram sobre Argissolos e Espodossolos degradados?; b) Há espécies que apresentam desenvolvimento independente da adubação de cobertura?; c) Há padrão de distribuição de sobrevivência e incremento em área basal dependente da distribuição espacial dessas espécies?

Para tanto, realizou-se a escolha e implantação de dezessete espécies arbóreas nativas, que ocupam naturalmente diferentes posições na paisagem da região dos tabuleiros costeiros do estado do Espírito Santo. O plantio foi realizado na última semana de novembro do ano de 2012 em talude de APP fluvial e margens de nascente intermitente. As mudas foram distribuídas em linhas monoespecíficas, supondo a existência de pedoambientes distintos que

pudessem determinar alguma influência no desenvolvimento dos indivíduos plantados.

Este documento está estruturado em dois capítulos. No capítulo 1 consta a pesquisa envolvendo oito espécies arbóreas nativas plantadas em área de nascente intermitente constituída por dois tipos de solos – Argissolos e Espodossolos, condição gerada por materiais de origem distintos. Cada espécie possui distribuição ao longo de três linhas contínuas de 60 m, ocupando margens fisiograficamente simétricas e pedologicamente assimétricas. Já no capítulo 2, em uma das margens do rio intermitente formado pela nascente supracitada, foram plantadas quatorze espécies arbóreas nativas, cujo tratamento é baseado na aplicação ou não de adubação de cobertura. Estas espécies foram alocadas em blocos de seis linhas com 30 metros (m) de comprimento cada, três linhas receberam adubação de cobertura e nas outras três, este tratamento não foi aplicado. A estratégia permitiu analisar comportamentos díspares das espécies, atribuídos não somente às classes de solos e à adubação, como também ao gradiente de umidade presente nas rampas das pedossequências.

Palavras-chave: Recuperação. Gradientes de umidade no solo. Adubação. MEM.

## GENERAL ABSTRACT

Forest recovery is essential action to mitigate damage caused by the degradation of vegetation and soil on margins of streams and springs. Gather the historic of the area, seeking to determine the type and how intense was the degradation, besides the type of soil in the area, are analyzes that going to determine the adoption of different methodologies that start from pre-preparation of the area, planting until monitoring.

Considering the degradation of river margins, enacted as Permanent Preservation Areas (APP) by Law No. 12,651 / 12, intermittent springs, and also their crucial roles in the regulation and maintenance of water processes, justifies the necessity of researches that approach a systemic vision pedologic - hidric – plant to recovery these environments. This work, which describes a subproject of "Projeto Biomas" of the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), shows results that assist in the selection and allocation of native tree species of Floresta Estacional Semidecidual - located in the biome Mata Atlântica, to recover forest in Argissolos and Spodosols of Formação Barreiras in Linhares / ES.

In addition to these considerations, this research sought to answer the questions: a) What species, among the tested, showed higher rates of survival and better developed on degraded Argissolos and Spodosols ?; b) Are there species that have independent development of covering fertilization?; c) Is there survival and increased distribution pattern in basal area dependent on the spatial distribution of these species?

Therefore, there was the choice and implementation of seventeen native species that occupy different positions naturally in the landscape of the region of the coastal plains of the state of Espírito Santo. Planting was carried out in the last week of November of 2012 in embankment river APP and intermittent rising margins. The seedlings were distributed in monospecific lines, assuming the existence of distinct pedoenvironment that could determine any influence on the development of the seedlings.

This document is divided into two chapters. Chapter 1 contains the survey of eight native tree species planted in intermittent source area consists

of two types of soil - Argissolos and Spodosols, condition generated by different source materials. Each species has distribution over three continuous lines of 60 m, occupying margins physiographically symmetrical and with pedologic asymmetry. In the chapter 2, one of the margins of the wadi formed by the aforementioned spring, fourteen native tree species were planted, whose treatment is based on the application or not of covering fertilization. These species were allocated in blocks of six lines with 30 meters (m) long each, three lines received cover fertilization and the other three, this treatment was not applied. The strategy allowed us to analyze disparate behaviors of species, attributed not only to the classes of soil and fertilizer, as well as the moisture gradient present in the pedossequências ramps.

Keywords: Recovery. Soil moisture gradients. Fertilization. MEM.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>1- CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 – METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
1.2.1 Características e localização da área experimental .....	16
1.2.2 Geologia e solos .....	17
1.2.3 - Preparo da área/plantio.....	18
1.2.4 - Coleta e análise de dados .....	20
<b>1.3 - RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
1.3.1 Solos.....	22
1.3.2 Sobrevivência das arbóreas nativas entre as pedossequências.....	24
1.3.3 Incremento de Área Basal das arbóreas nativas entre as pedossequências	25
1.3.4 Padrões espaciais do IAB. ....	26
<b>1.4 –DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
1.4.1 Desenvolvimento das plantas e suas relações com atributos do solo.....	28
1.4.2 Sobrevivência e IAB das espécies ao longo das pedossequências .....	30
<b>1.5 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>1.6 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>35</b>
<b>2 - CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>42</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>42</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 - METODOLOGIA .....</b>	<b>46</b>
2.2.1 Características e localização da área experimental .....	46
2.2.2 Geologia e solos .....	47
2.2.3 Preparo da área/plantio .....	47
<b>2.3 - RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
2.3.1 Solos.....	52
2.3.2 Sobrevivência das arbóreas nativas.....	54
2.3.3 IAB médio das arbóreas nativas .....	54
2.3.4 IAB das arbóreas na pedossequência .....	56
<b>2.4 - DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>

2.4.2 Distribuição do IAB ao longo da pedossequência.....	61
<b>2.5 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>2.6 – REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>65</b>
<b>3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>72</b>
<b>4 – ANEXOS .....</b>	<b>74</b>
4.1 - Anexo 1) Croqui da área experimental do Capítulo 1 .....	74
4.2 - Anexo 2) Análises dos solos do Capítulo 1.....	75
4.3 - Anexo 3) Fotos da área experimental do Capítulo 1 .....	77
4.4 - Anexo 4) Tabelas ANOVA das espécies analisadas no Capítulo 1.....	78
4.5 - Anexo 5) Croqui área experimental do Capítulo 2 .....	79
4.6 - Anexo 6) Análises dos solo do Capítulo 2.....	80
4.7 - Anexo 7) Fotos da área experimental do Capítulo 2.....	82
4.8 - Anexo 8) Tabelas ANOVA das espécies do Capítulo 2.....	85

## APRESENTAÇÃO GERAL

A recuperação florestal é ação essencial na mitigação de danos causados pela degradação da vegetação e solo às margens dos cursos d'água e nascentes. Dessa forma, atentar ao histórico da área, buscando determinar o tipo, bem como o quão intensa foi a degradação sofrida, além do tipo de solo da área, são análises que determinarão a adoção de metodologias distintas desde o pré-preparo da área, passando pelo plantio, condução e até o monitoramento.

Tendo em vista a degradação das margens fluviais, decretadas como Áreas de Preservação Permanente (APP) pela Lei nº 12.651/12, de nascentes intermitentes, e também seus papéis cruciais na regulação e manutenção de processos hídricos, justifica-se a necessidade de pesquisas que abordem uma visão de recuperação sistêmica pedológica - hídrica – fitotípica destes ambientes. Este trabalho, que descreve um subprojeto do “Projeto Biomas” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), traz a lume resultados que auxiliam na escolha e alocação de espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual - localizada na Mata Atlântica, para recuperar formações florestais sobre Argissolos e Espodossolos da Formação Barreiras em Linhares/ES.

A par dessas considerações, essa pesquisa buscou responder às perguntas: a) Quais espécies, dentre as testadas, apresentaram maiores percentuais de sobrevivência e melhor se desenvolveram sobre Argissolos e Espodossolos degradados?; b) Há espécies que apresentam desenvolvimento independente da adubação de cobertura?; c) Há padrão de distribuição de sobrevivência e incremento em área basal dependente da distribuição espacial dessas espécies?

Para tanto, realizou-se a escolha e implantação de dezessete espécies arbóreas nativas, que ocupam naturalmente diferentes posições na paisagem da região dos tabuleiros costeiros do estado do Espírito Santo. O plantio foi realizado na última semana de novembro do ano de 2012 em talude de APP fluvial e margens de nascente intermitente. As mudas foram distribuídas em linhas monoespecíficas, supondo a existência de pedoambientes distintos que pudessem determinar alguma influência no desenvolvimento dos indivíduos plantados.

Este documento está estruturado em dois capítulos. No capítulo 1 consta a pesquisa envolvendo oito espécies arbóreas nativas plantadas em área de nascente

intermitente constituída por dois tipos de solos – Argissolos e Espodossolos, condição gerada por materiais de origem distintos. Cada espécie possui distribuição ao longo de três linhas contínuas de 60 m, ocupando margens fisiograficamente simétricas e pedologicamente assimétricas. Já no capítulo 2, em uma das margens do rio intermitente formado pela nascente supracitada, foram plantadas quatorze espécies arbóreas nativas, cujo tratamento é baseado na aplicação ou não de adubação. Estas espécies foram alocadas em blocos de seis linhas com 30 metros (m) de comprimento cada, três linhas receberam adubação de cobertura e nas outras três, este tratamento não foi aplicado. A estratégia permitiu analisar comportamentos díspares das espécies, atribuídos não somente às classes de solos e à adubação, como também ao gradiente de umidade presente nas rampas das pedossequências.

**1- CAPÍTULO 1**  
**INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS PEDOLÓGICOS NO DESENVOLVIMENTO**  
**DE ARBÓREAS NATIVAS EM NASCENTE INTERMITENTE, LINHARES,**  
**ESPÍRITO SANTO.**

**RESUMO**

A recuperação florestal é ação essencial na mitigação de danos causados pela degradação da vegetação e solo às margens dos cursos d'água e nascentes. Diante dessa assertiva, essa pesquisa objetivou avaliar ao longo de trinta meses, a influência dos atributos dos solos sobre a sobrevivência e desenvolvimento inicial de oito espécies arbóreas nativas - *Andira ormosioides*, *Copaifera lucens*, *Bowdichia virgilioides*, *Inga subnuda*, *Inga vera*, *Peltophorum dubium*, *Schinus terebinthifolius* e *Tapirira guianensis*. O plantio foi realizado com espaçamento de 2 x 2 metros em margens opostas de nascente intermitente, no município de Linhares, Espírito Santo. As margens são geomorfologicamente simétricas e pedologicamente assimétricas, assim, de um lado encontra-se Argissolo Amarelo e do outro Espodossolo Humilúvico, ambos sujeitos à semi-saturação hídrica temporária. Todas as espécies apresentaram maiores percentuais de sobrevivência e crescimento, mesmo que modestos, sob Argissolo. As comparações das médias de incremento em área basal (IAB) foram realizadas pelo teste t e indicaram que os solos foram responsáveis por diferenças significativas no desenvolvimento de cinco espécies (*A. ormosioides*, *T. guianensis*, *I. vera*, *P. dubium* e *S. terebinthifolius*). Enquanto que o uso de variáveis espaciais (Moran Eigenvector's Maps - MEMs), tendo o tipo de solo como variável dependente e variáveis espaciais (Moran Eigenvector's Maps - MEMs) como co-variáveis, indicou que a influência de variações dos atributos dos solos nas pedossequências, foram determinantes no desenvolvimento de quatro das cinco citadas (com exceção *S. terebinthifolius*). Os resultados ainda sugerem que *A. ormosioides* e *I. vera* têm maior adaptabilidade em solos com maior umidade que as demais. Resultados como estes reforçam o viés integrado solo-água-plantas, aumentando a eficiência de projetos para recuperação de ambientes degradados, especialmente em nascentes.

**Palavras-chave:** Recuperação. Hidromorfia. Argissolo. Espodossolo.

## ABSTRACT

Forest recovery is an essential action required to mitigate damage that results from the degradation of vegetation and soil on the banks of streams and springs. The aim of this research is to evaluate the influence of soil attributes on initial survival and development of eight native tree species - *Andira ormosioides*, *Copaifera lucens*, *Bowdichia virgilioides*, *Inga subnuda*, *Inga vera*, *Peltophorum dubium*, *Schinus terebinthifolius* and *Tapirira guianensis*- over a thirty month period. Planting was performed with 2 x 2 m spacing on opposite margins of an intermittent spring in Linhares, Espírito Santo. Margins are geomorphological symmetric and pedological asymmetric, therefore one side is Ultisol and the other side is Spodosol, both being subject to temporary water semi-saturation. All species planted in Ultisol showed consistently higher rates of survival and growth. Comparisons of the average increment in basal area (IBA) were performed by a t test which indicated that the soils were responsible for significant differences in the development of five species (*A. ormosioides*, *T. guianensis*, *I. vera*, *P. dubium*, *S. terebinthifolius*). The use of soil as the dependent variable and spatial variables (Moran Eigenvector's Maps - MEMs) as covariates indicated that the influence of variations of soil attributes in pedosequences were decisive in the development of four the five species (exception *S. terebinthifolius*). The results also suggest that *A. ormosioides* and *I. vera* have greater adaptability to soils with higher moisture content in comparison to the other species. These results reinforce the integrated nature "soil-water-plant", increasing efficiency of projects to restore degraded environments, especially in springs.

**Key-words:** Recovery. Hydromorphy. Ultisol. Spodosol.

## 1.1- INTRODUÇÃO

A Floresta Atlântica estende-se ao longo da costa brasileira interiorizando-se, na região sul até o leste do Paraguai e nordeste da Argentina (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000). A degradação de suas áreas naturais é fator preocupante visto que restam apenas 13% dos remanescentes da cobertura original brasileira com extensões acima de três hectares (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2014). Esse Bioma possui, por isso, o dogma de ser um dos mais ameaçados do mundo, sendo considerado um *hotspot* para conservação, dado o seu alto grau de endemismo e ameaças de extinções iminentes (MYERS et al., 2000; PINTO et al., 2009). Todos estes motivos tornam emergencial a aplicação de ações que priorizem a recuperação de suas áreas degradadas.

Grande parte das áreas degradadas neste Bioma situam-se às margens de cursos d'água e respectivas nascentes, condição que remonta à histórica ocupação humana e agrícola desses ambientes, muitas vezes de forma desordenada (ASSAD, 2013; BAPTISTA; CARDOSO, 2013). A proteção legal das nascentes perenes vigora sob a Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), conhecida como “Novo Código Florestal Brasileiro”. Nas áreas cuja vegetação natural já foi suprimida, há obrigação legal de recomposição de área dentro de um raio de 50 metros (m) a partir da surgência da água, salvo quando a área de enquadra como consolidada (BRASIL, 2012), não estando sujeitas a esse condicionante, nascentes que possuem caráter intermitente. Entretanto, a recuperação de ambos os ambientes – perene e intermitente, são processos complexos que exigem a aplicação de metodologias multidisciplinares, as quais felizmente vêm se desenvolvendo ao longo dos anos.

Diversos trabalhos realizados em áreas que circundam rios relatam variações edáficas, topográficas e de hidromorfia dos solos, como alguns dos fatores responsáveis pelo mosaico vegetacional observado nessas formações (RODRIGUES; SHEPHERD, 2000). Trabalhos que versam sobre padrões de distribuição das espécies no ambiente, regidos por fatores edáficos foram realizados por Cardoso; Schiavini (2002), Carvalho et al.(2005), Curcio et al. (2007), Uhlmann (2003), dentre outros, e revelam que a aplicação dessas informações para a recuperação de nascentes ainda é pouco conhecida e utilizada. A ausência de aplicação de padrões de distribuição de espécies de acordo com o pedoambiente que se almeja recuperar incorre, geralmente, em alocações vãs de tempo, mão-de-

obra, recursos econômicos e prejuízos ambientais, já que a falta de direcionamento no plantio de espécies não adaptadas às condições edáficas ribeirinhas, resulta em altas taxas de mortalidade e/ou desenvolvimento ínfimo das mudas. A recuperação então não acontece por conta dos indivíduos sobreviventes não serem capazes de promover evolução de processos funcionais, que só ocorrem quando os componentes bióticos e abióticos se desenvolvem conjuntamente.

Pode-se dizer que a influência dos solos sobre a vegetação é inegável tanto no que se refere às características químicas, quanto às físico-hídricas. Solos com textura argilosa possuem, em geral, maior disponibilidade de bases e capacidade de troca catiônica (CTC) mais elevada (BRADY; WEIL, 1999; RIGATTO et al., 2005; RONQUIN, 2010), portanto, melhores condições de desenvolvimento para as plantas. Por outro lado, a umidade é um dos principais condicionantes no estabelecimento das espécies (REATTO et al., 2001). Elevados teores de umidade nos solos podem relacionar-se a fatores como: presença de lençol freático, lençol freático pluviométrico (LESP), ou a própria conformação geomorfológica côncava das áreas.

Quando o lençol freático se encontra superficialmente, limita a aeração das raízes, reduzindo o crescimento das plantas (MARTINS et al., 2015), e a diversidade de espécies adaptadas para ocupação desses ambientes. Outro forte agente seletor de espécies é o LESP, que pode ser formado na presença de caráter dúrico, sobretudo quando este se encontra próximo da superfície e em épocas com alta precipitação, determinando níveis elevados de umidade e/ou saturação hídrica (BOUMA, 1983; CURCIO, 2006). Já a conformação côncava das áreas também favorece acúmulo hídrico e aumento de umidade, sobretudo em seus terços inferiores devido à convergência hídrica para esses locais.

Ademais, a maior ou menor umidade retida no solo depende também dos seus atributos, em grande parte, relacionados à textura. No caso específico desta porção do Bioma Mata Atlântica, as cabeceiras de drenagem, bem como as margens fluviais podem apresentar classes marcadamente distintas, como àquelas dos Argissolos e Espodosolos. Solos essencialmente arenosos como, por exemplo, os Espodosolos, possuem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (ARAÚJO-FILHO, 2003). No entanto, se possuem caráter dúrico mais próximo da superfície, pode ocorrer formação de LESP. Por outro lado, solos com maiores teores de argila, como os Argissolos, por maiores que sejam seus gradientes

texturais, dificilmente atingirão o regime de saturação hídrica plena, uma vez que permitem fluxos hídricos verticais, mesmo que de forma lenta (LIBARDI; MELO FILHO, 2001).

Esta pesquisa, realizada em nascente intermitente degradada, objetivou determinar a sobrevivência e o desenvolvimento de oito arbóreas nativas em dois tipos de solos contrastantes dos Tabuleiros Costeiros do Sudeste brasileiro. Aqui são lançadas duas hipóteses fundamentais: 1) os atributos favoráveis de solos mais argilosos levam à maior incremento e menor percentual de mortalidade das mudas e 2) o incremento tende a exibir padrões espaciais principalmente relacionados com a posição das mudas ao longo dos terços das encostas (pedossequências).

## 1.2 – METODOLOGIA

### 1.2.1 Características e localização da área experimental

Esta pesquisa foi realizada na Fazenda São Marcos, Linhares, ES, (-19.217480° e - 40.050051°), em área de 2.880 m<sup>2</sup>, com declividade média de 9%. Mais especificamente, em nascente fluvial intermitente (foto 1), portanto, com possibilidade sazonal da presença do caráter hidromórfico e semi-hidromórfico, principalmente no terço final das encostas.



Foto 1 - Visão geral da área previamente à instalação do experimento, com destaque para surgência d'água no interior da área de nascente.

O clima ao qual a área está sujeita é do tipo Aw - tropical com estação seca de inverno (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 23,4°C (INCAPER, 2011).

Entre o mês do plantio (novembro de 2012) e fevereiro de 2013, os dados pluviométricos foram cedidos pela Reserva Natural da Vale, em Linhares, a qual se localiza a oito quilômetros (km) da área de plantio. A partir de março de 2013 instalou-se um pluviômetro na área experimental e foram tomadas medidas diariamente. As somas pluviométricas mensais de todo o período de monitoramento podem ser observadas no gráfico 1.

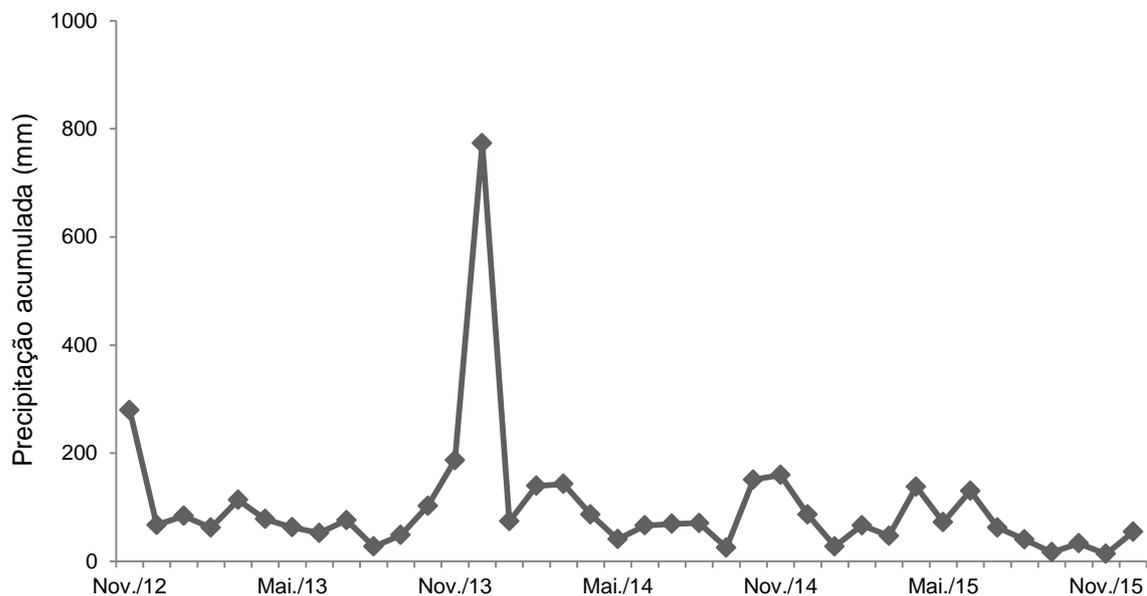


Gráfico 1 – Volumes pluviométricos mensais, área experimental, Linhares/ES.

### 1.2.2 Geologia e solos

O experimento está instalado sobre paisagem típica de tabuleiro costeiro, relevo que se desenvolve sobre um pacote de sedimentos continentais denominado Grupo Barreiras. Esse grupo está dividido em duas sequências sedimentares: Barreiras Inferior, depositado no período Terciário e uma segunda sequência depositada no Pleistoceno, que corresponde ao Barreiras Superior (VÍCENS et al., 2003).

Aspecto muito singular e favorável a este tipo de estudo é o de que metade direita da nascente é formada por Espodosolo Humilúvico oriundo do Barreiras

Inferior, com predominância de sedimentos grosseiros de arenitos e cascalhos, e a metade esquerda é constituída por Argissolo Amarelo (figura 1), derivado do Barreiras Superior, que possui predominância de materiais areno-argilosos (VÍCENS et al., 2003). Ambos os solos foram classificados de acordo com Santos et al. (2013).

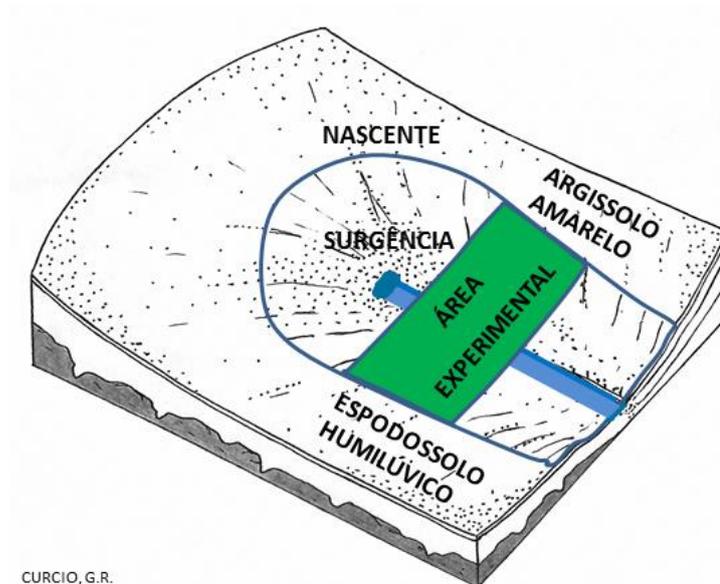


Figura 1- Desenho esquemático da área experimental inserida na área da nascente.

### 1.2.3 - Preparo da área/plantio

O combate às formigas cortadeiras começou em agosto de 2012, ou seja, três meses antes do plantio e foi realizada mensalmente até o plantio. Para tanto, foram distribuídas 3 gramas(g)/m<sup>2</sup> de iscas formicidas à base de sulfloramida em área total e 5 g a cada 2 m na área circundante ao experimento. Um mês antes do plantio também se realizou roçada semi-mecanizada de pastagem de *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga, em área total, mantendo-se a cobertura do solo.

As covas foram abertas com motocoveadoras, nas dimensões de 40 centímetros (cm) de profundidade por 20 cm de diâmetro. A adubação de base foi realizada com 2 litros (l) de esterco curtido + 90 g de termofosfato + 10 g de micronutrientes – FTE e 20 g de adubo NPK (20-05-20). O hidrogel foi diluído na proporção de 4g do produto/l de água e aplicou-se 1,3 l do hidrogel hidratado/cova.

Na última semana de novembro de 2012 foram plantadas 720 mudas de oito espécies arbóreas nativas: *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Tapirira guianensis* Aubl., *Andira ormosioides* Benth., *Bowdichia virgilioides* Kunth, *Copaifera lucens* Dwyer, *Inga vera* (Sw.) Willd., *Inga subnuda* Salzm. ex Benth., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. A distribuição das mudas foi realizada em 24 linhas de 60 m em espaçamento 2 x 2 m. As linhas de plantio ficaram dispostas em ambas as margens da nascente, 30 m em Espodossolo Humilúvico e os outros 30 m em Argissolo Amarelo. As mudas de cada uma das oito espécies foram alojadas em três linhas (figura 2 e anexo 1- croqui completo).

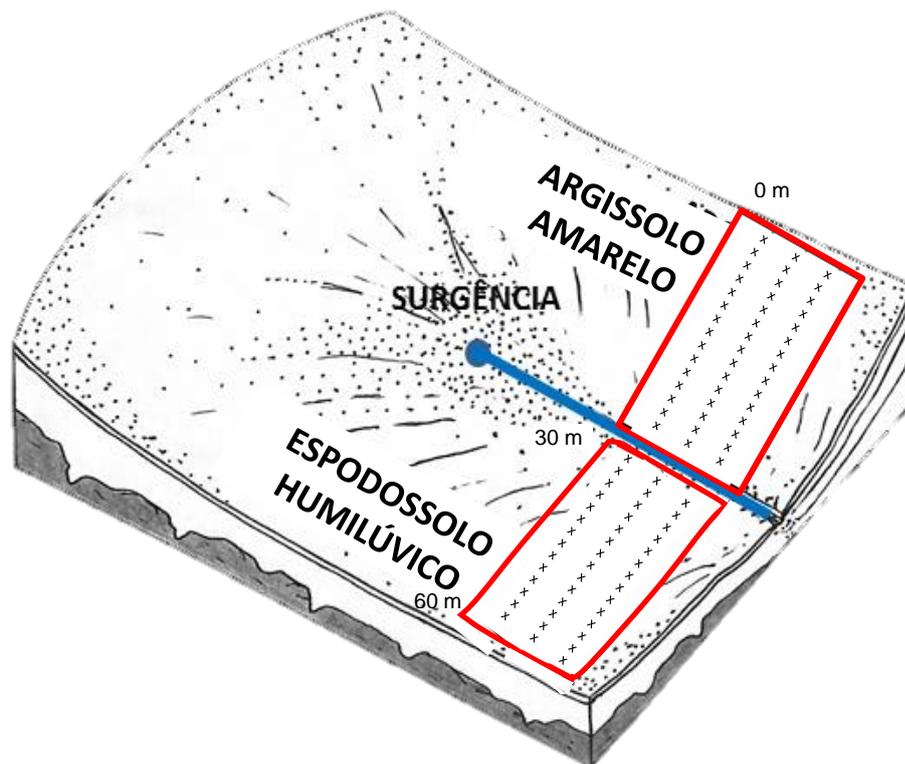


Figura 2- Croqui simplificado da implantação das linhas de uma das oito espécies implantadas na área de nascente com margens compostas por Argissolo e Espodossolo, Linhares/ES.

Um mês após a implantação do experimento foi realizado replantio de mudas nas covas daquelas que não haviam se estabelecido. Em fevereiro de 2013 foi realizada roçada semi – mecanizada, posteriormente, essas roçadas foram executadas em intervalos de seis meses. Além das citadas, atividades de manutenção ao longo dos 30 meses dessa pesquisa foram realizadas em intervalos médios de 45 dias em épocas de chuva e 60 dias na seca. As atividades consistiram de: coroamentos manuais ao redor das mudas em um raio de 50 cm e proteção das

coroas com cobertura morta. O monitoramento e combate às formigas cortadeiras foram realizados de forma sistemática, quando se detectava ocorrência das mesmas, visto que a área experimental é circundada por povoamentos de empresas florestais privadas, que na ocasião da implantação desse experimento, estavam realizando suas colheitas e plantios, e, por isso, também a contenção das formigas continuamente. Quando necessário, foram distribuídas 2 g/m<sup>2</sup> de iscas formicidas à base de sulfluramida na área infestada e 5 g a cada 2 m na área circundante ao experimento.

Em virtude da ausência de chuva em dezembro de 2012 (mês seguinte ao plantio), em janeiro de 2013 pequenas bacias para contenção da água da irrigação foram construídas à jusante cada muda. As irrigações foram realizadas semanalmente com a aplicação de 4 a 6 l de água/cova durante três meses (dezembro de 2012, janeiro e fevereiro de 2013), visto que a região passou por um período extenso de seca. A partir de março de 2013 com relativa estabilização das mudas em campo (já com três meses) e por conta das chuvas terem começado (mesmo que com poucos milímetros (mm)), a irrigação não foi tão periódica, ocorrendo apenas quando se presumia necessário.

#### 1.2.4 - Coleta e análise de dados

As coletas e descrições dos perfis seguiram critérios estabelecidos em Lemos; Santos (1996), e as análises químicas e granulométricas das amostras de solos foram realizadas segundo a metodologia descrita em Embrapa (1997). As análises químicas envolveram a determinação de carbono orgânico, pH (CaCl<sub>2</sub>), Ca, Mg, K, Na, Al, H, P, sendo obtidos os valores de soma de bases extraíveis (S), complexo de troca catiônica (T), assim como as relações saturação por alumínio trocável (m) e saturação por bases trocáveis (V%).

Os dados de diâmetro à altura do solo (DAS) e altura total (H) das arbóreas foram obtidos em coletas periódicas aos 6, 18 e 30 meses (T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, respectivamente). Somente as espécies que apresentaram sobrevivência média superior a 30% em T<sub>2</sub> foram analisadas.

A sobrevivência foi avaliada aos 30 meses através da construção de tabelas de contingência (2x2), contendo a contagem do número de indivíduos sobreviventes, às quais foi aplicado o teste qui-quadrado, admitindo nível de significância de 5%.

Ainda que os dados de crescimento tenham incluído dois parâmetros, a altura e o incremento em área basal (IAB) ao longo de 30 meses, o principal interesse foi averiguar o IAB total (de  $T_0$  a  $T_2$ ), devido a maior precisão dos dados obtidos com paquímetro como instrumento de medição do DAS. Assim, sua derivação imediata, ou seja, o IAB (fórmula 1) foi escolhido para executar os testes estatísticos.

$$\text{Fórmula 1: } IAB = AB_{(T_2)} - AB_{(T_0)}$$

$$\text{Tal que: Área basal (AB) = } \pi \cdot r^2 \longrightarrow \pi \cdot (d/2)^2$$

Onde: r= raio; d= diâmetro; dados coletados em mm e transformados em cm por meio de divisão por 10.

Foram comparadas as médias do IAB das espécies em cada solo por meio do teste t de Student. Antes da análise, verificou-se a homogeneidade da variância pelo teste de Levene, aceitando  $H_0$  quando  $p > 0,05$ . Também se verificou a normalidade da distribuição desses dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Complementarmente, os dados foram visualizados em gráficos, de modo a atestar o cumprimento dessas premissas, que, caso não atingidas, foram corrigidas por meio de transformações logarítmica, raiz quadrada, raiz cúbica e inversa (QUINN; KEOUGH, 2002).

O desenvolvimento (IAB) foi testado quanto ao efeito dos solos e também da distribuição espacial das mudas ao longo da pedossequência. Para avaliar unicamente a influência dos solos sobre o desenvolvimento das espécies o teste T de Student foi utilizado. Para isolar o efeito da distribuição espacial ao longo da pedossequência e testar a presença de padrões espaciais, foram utilizado MEMs (Moran Eigenvector Maps) como variáveis espaciais (DINIZ-FILHO et al., 2003; PERES-NETO et al., 2006; PERES-NETO; LEGENDRE, 2010).

Os MEMs foram gerados a partir de autovetores extraídos de uma matriz binária de conectividades entre os pontos amostrais (mudas plantadas), a qual deriva de uma triangulação Delaunay, na qual somente os vizinhos mais próximos são considerados conectados (Dray et al., 2006). Para obtenção dos MEMs foram utilizados os pacotes tripack (RENKA; GEBHARDT, 2013), spdep (BIVAND ET AL., 2013; BIVAND; PIRAS, 2015) e spacemakeR (DRAY ET AL., 2006) no R (R TEAM,

2012). Os MEMs foram escolhidos através de seleção automática, conforme proposto por Blanchet et al. (2008) utilizando o script publicado em Eisenlohr (2014).

A partição da variância foi conduzida através do argumento `varpart()` do pacote `Vegan R` (OKSANEN et al., 2015), objetivando segregar a fração da variância explicada pelos elementos individuais do modelo (solos e MEMs), a fração partilhada entre estes dois elementos, assim como aquela fração que, em geral, permanece inexplicada na forma de resíduos (PERES-NETO et al., 2006). Se a variação exclusivamente atribuída ao tratamento fosse significativa, aplicava-se testes de média aos dados da variável dependente, tendo os MEMs como co-variáveis, a fim de atestar o efeito do tratamento independente do efeito do espaço. Da mesma forma, a partição da variância permitiu avaliar os efeitos da distribuição espacial das mudas, interpretados como aqueles derivados de variáveis não incluídas no modelo, mas estruturadas no espaço, assim como a variância compartilhada que denota o efeito do solo estruturado no espaço.

Para facilitar a visualização e ilustrar a variação do IAB de cada espécie na pedossequência, diagramas bidimensionais foram construídos por meio de interpolação por krigagem valendo-se do pacote `Gstat` (PEBESMA, 2004).

## 1.3 - RESULTADOS

### 1.3.1 Solos

Os resultados analíticos dos solos que contribuíram para os classificar, respectivamente, como Espodossolo Humilúvico Hidromórfico Dúrico (Foto 2A) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (Foto 2B) constam nas tabelas 1, 2 e anexo 2.

Nos horizontes B espódicos ( $B_h$  e  $B_{hm}$ ), do Espodossolo Humilúvico há expressiva acumulação iluvial de matéria orgânica em matriz arenosa, a qual reveste outras partículas, obliterando poros e gerando elevado grau de cimentação (caráter dúrico). O acúmulo e sua consequência, evidenciada pelo expressivo aumento da CTC nos horizontes  $B_h$  e  $B_{hm}$  em comparação aos demais, pode ser identificado na tabela 1.

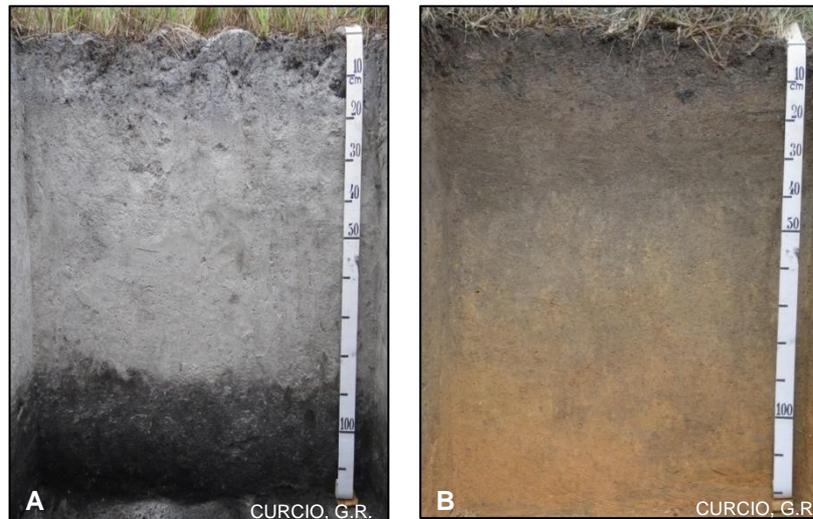


Foto 2 - A) Espodossolo Humilúvico Hidromórfico Dúrico A moderado; B) Argissolo Amarelo Distrocóeso típico.

Em relação ao complexo sortivo, a baixa saturação por bases (V%) denota a distrofia do sistema, juntamente com elevados teores de saturação por alumínio trocável (valor m%).

Tabela 1 - Atributos granulométricos, químicos e físico- hídricos de Espodossolo Humilúvico Hidromórfico dúrico da área experimental, Linhares/ES.

Horizonte	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	C	Valores				CH	DS
							S	CTC	V	m		
Simb.	Prof. (cm)	g kg <sup>-1</sup>				g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	cm.h <sup>-1</sup>	Mg.m <sup>-3</sup>	
Ap	0-18	13	50	797	140	22,2	0,64	3,84	17	38	100,33	1,12
AE	18-45	38	50	783	129	8,7	0,41	2,01	20	0	85,6	1,20
E2	45-83	37	25	723	215	6,9	0,41	1,81	23	20	40,49	1,48
Bh	83-100	38	37	798	127	18,2	0,61	6,41	10	66	19,86	1,44
Bhm	100-115	125	62	723	90	53,2	1.03	35,93	3	85	NE	NE

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável; CH: condutividade hidráulica; DS: densidade do solo; NE= não efetuado.

O incremento de argila em horizonte mineral subsuperficial (B<sub>t</sub>), está bem evidente no Argissolo Amarelo deste experimento (tabela 2), o qual detém elevada relação textural (B/A= 2,17). Fato que influencia diretamente na dinâmica hídrica no solo, já que com maior acúmulo de argila, reduz-se a macroporosidade e o processo de infiltração é desacelerado, o que é agravado pelo caráter coeso identificado a partir do horizonte B<sub>t</sub>A. Essas características são particularmente importantes quando analisadas frente à sazonalidade a qual a área está sujeita, pois há períodos

em que ocorrem fluxos hídricos superficiais que favorecerão a erosão superficial e subsuperficial, mesmo em menores declives, sendo este um dos motivos desta recuperação.

Quanto às características químicas, assim como no Espodossolo supracitado, embora apresente valores de soma de bases pouco mais elevados, verifica-se a distrofia do complexo.

Tabela 2- Atributos granulométricos, químicos e físico- hídricos de Argissolo Amarelo Distrocoeso típico da área experimental, Linhares/ES.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	C	Valores				CH	DS	
						S	CTC	V	m			
Simb.	Prof. (cm)	g kg <sup>-1</sup>			g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%		cm.h <sup>-1</sup>	Mg.m <sup>-3</sup>		
Ap	0-26	13	63	810	114	7,8	1,62	4,32	38	16	116,63	1,27
Apb	26-43	138	112	597	153	8,7	0,87	4,87	18	51	87,6	1,29
Btx <sub>11</sub>	43-61	300	75	510	115	4,2	0,71	5,31	13	65	43,8	1,47
Btx <sub>12</sub>	61-96	300	50	497	153	4,2	0,51	4,81	11	68	42,78	1,48
Btx <sub>2</sub>	96-122	313	12	565	110	2,4	0,51	3,91	13	66	23,68	1,49

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável; CH: condutividade hidráulica; DS: densidade do solo; NE= não efetuado.

Através dos resultados das análises pode ser evidenciado grande percentual de areia em ambos os perfis. Entretanto, a presença dos horizontes B<sub>h</sub> e B<sub>hm</sub> no Espodossolo Humilúvico, determina forte limitação à percolação hídrica em períodos de alta precipitação.

### 1.3.2 Sobrevivência das arbóreas nativas entre as pedossequências

Logo após o plantio, as mudas passaram por um período expressivo de estiagem (aproximadamente 20 dias), fator que seguramente influenciou nos percentuais de sobrevivência. Cinco espécies (*A. ormosioides*, *S. terebinthifolius*, *P. dubium*, *T. guianensis* e *I. vera*) apresentaram sobrevivência superior a 30% das mudas plantadas, mas somente as quatro primeiras tiveram a sobrevivência afetada pelo tipo de solos, sempre maior no Argissolo (tabela 3).

Tabela 3- Teste qui-quadrado aplicado aos dados de sobrevivência (%) das espécies considerando o tipo de solo como variável independente.

Espécie	Sobrevivência (%)	
	Argissolo Amarelo	Espodossolo Humilúvico
<i>A. ormosioides</i> *	86	68
<i>S. terebinthifolius</i> *	85	50
<i>I. vera</i>	78	77
<i>P. dubium</i> *	67	60
<i>T. guianensis</i> *	57	14

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Para o atual estágio de desenvolvimento das plantas, estes dados revelam desde preferências expressivas de algumas espécies pelo Argissolo até respostas indiferentes, no caso de *I. vera*.

### 1.3.3 Incremento de Área Basal das arbóreas nativas entre as pedossequências

Os solos influenciaram sobremaneira o incremento em área basal (IAB) das espécies analisadas (tabela 4). Os resultados obtidos indicaram maior IAB estatisticamente significativo para todas as espécies em Argissolo Amarelo. Há destaque para *T. guianensis* e *P. dubium*, visto que seus IAB foram respectivamente 81 e 77% superiores neste solo em relação àquele das mudas sobre Espodossolo Humilúvico.

Além de serem apresentados os dados de IAB, a tabela 4 ainda contém, a título de equivalência ilustrativa ao IAB e para divulgação de mais dados experimentais de arbóreas nativas, as médias de altura e diâmetro mensurados em T<sub>2</sub>, mesmo que tais parâmetros não tenham sido analisados nessa pesquisa. Fotos das espécies seguem apresentadas no anexo 3 e tabelas ANOVA no anexo 4.

Tabela 4 – Resultados do teste t para comparação de médias de IAB, altura e diâmetro das espécies por tipo de solo.

Espécie	Tratamento	IAB médio ( $T_2-T_0$ ) (cm <sup>2</sup> )	Altura média em $T_2$ (cm)	Diâmetro médio em $T_2$ (cm)
<i>A. ormosioides</i> *	Argissolo	11,52	101,55	3,97
	Espodossolo	6,65	86,43	3,04
<i>I. vera</i> *	Argissolo	8,20	97,29	3,51
	Espodossolo	6,07	80,00	2,99
<i>T. guianensis</i> *	Argissolo	7,60	106,85	2,89
	Espodossolo	1,74	70,00	1,60
<i>S. terebinthifolius</i> *	Argissolo	6,62	87,84	2,99
	Espodossolo	4,17	75,65	2,40
<i>P. dubium</i> *	Argissolo	5,32	121,45	3,09
	Espodossolo	1,22	70,74	1,72

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

### 1.3.4 Padrões espaciais do IAB.

Apesar de todas as espécies analisadas terem apresentado médias de IAB estatisticamente significativas para os tipos de solo, com a adição dos MEMs ao modelo, o tratamento (tipos de solo) teve a dependência espacial isolada, ao mesmo tempo em que padrões de estrutura espacial puderam ser analisados buscando interpretar a sua origem. Deve-se ressaltar que a área experimental possui zonas com alto grau de erosão, onde certamente há diferenças de ordem química (CTC, valor S, teor de matéria orgânica etc.), de ordem morfológica (espessura de horizonte A e profundidade efetiva). Considerados os MEMs como cofatores, apenas *P. dubium* apresentou resposta significativa relacionada com os atributos do Argissolo (tabela 5 e figura 3B). Em outras palavras, admitindo a ausência de estrutura espacial na resposta atribuída aos solos, somente dos dados de *P. dubium* se obteve resposta significativamente distinta. Boa parte da variância atribuída ao tratamento encontra-se estruturada no espaço (29%), o que pode ser visto também na figura 3, mas uma boa parcela da variância permanece inexplicada no modelo (69% - tabela 5).

Tabela 5 - Partição da variância total, considerando efeitos do tipo de solo, das variáveis espaciais (MEMs), dos efeitos do tratamento (solos) estruturado no espaço, bem como da fração não explicada pelo modelo (resíduo).

	Fonte de variação			
	Tipo de Solo	Variáveis espaciais	Efeito do tratamento estruturado no espaço	Resíduo
<i>A. ormosioides</i>	0,01	0,24**	0,17	0,60
<i>I. vera</i>	$-1 \times 10^{-3}$	0,12*	0,03	0,86
<i>T. guianensis</i>	$-9 \times 10^{-3}$	0,13*	0,21	0,66
<i>S. terebinthifolius</i>	$3 \times 10^{-3}$	0,02	0,06	0,92
<i>P. dubium</i>	0,04*	-0,01	0,29	0,69

\*Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

*A. ormosioides* e *T. guianensis* também apresentaram suas respostas ao tratamento estruturadas no espaço (tabela 5 e figuras 3A e 3C), mas a influência de outros fatores não incluídos no modelo, mas igualmente estruturados no espaço é maior na primeira (24%) do que na segunda espécie (13%), restando perto de 60% da variância inexplicada em ambos os modelos.

Para *I. vera*, os padrões de resposta ao tipo de solo representam uma pequena parcela da variância do modelo. Por outro lado, há padrões de resposta estruturada no espaço (figura 3D) que justificam o significativo percentual de variância atribuído às variáveis espaciais (12% - tabela 5), mas que representam fatores de difícil explicação.

Conforme a visualização da figura 3, bem como dos dados contidos na tabela 5, confirmam, para *S. terebinthifolius*, tanto a resposta estruturada no espaço do tratamento (6% da variância extraída pelo modelo), quanto as respostas estruturadas no espaço, mas que não possuem relação com o tratamento (2%), representam o mais elevado percentual da variância extraída pelo modelo, mas uma parcela infinitamente maior desta permanece inexplicada (92%). Ou seja, variações químicas e morfológicas citadas acima e não delimitadas neste estudo podem ser os agentes causais dessas frações inexplicadas.

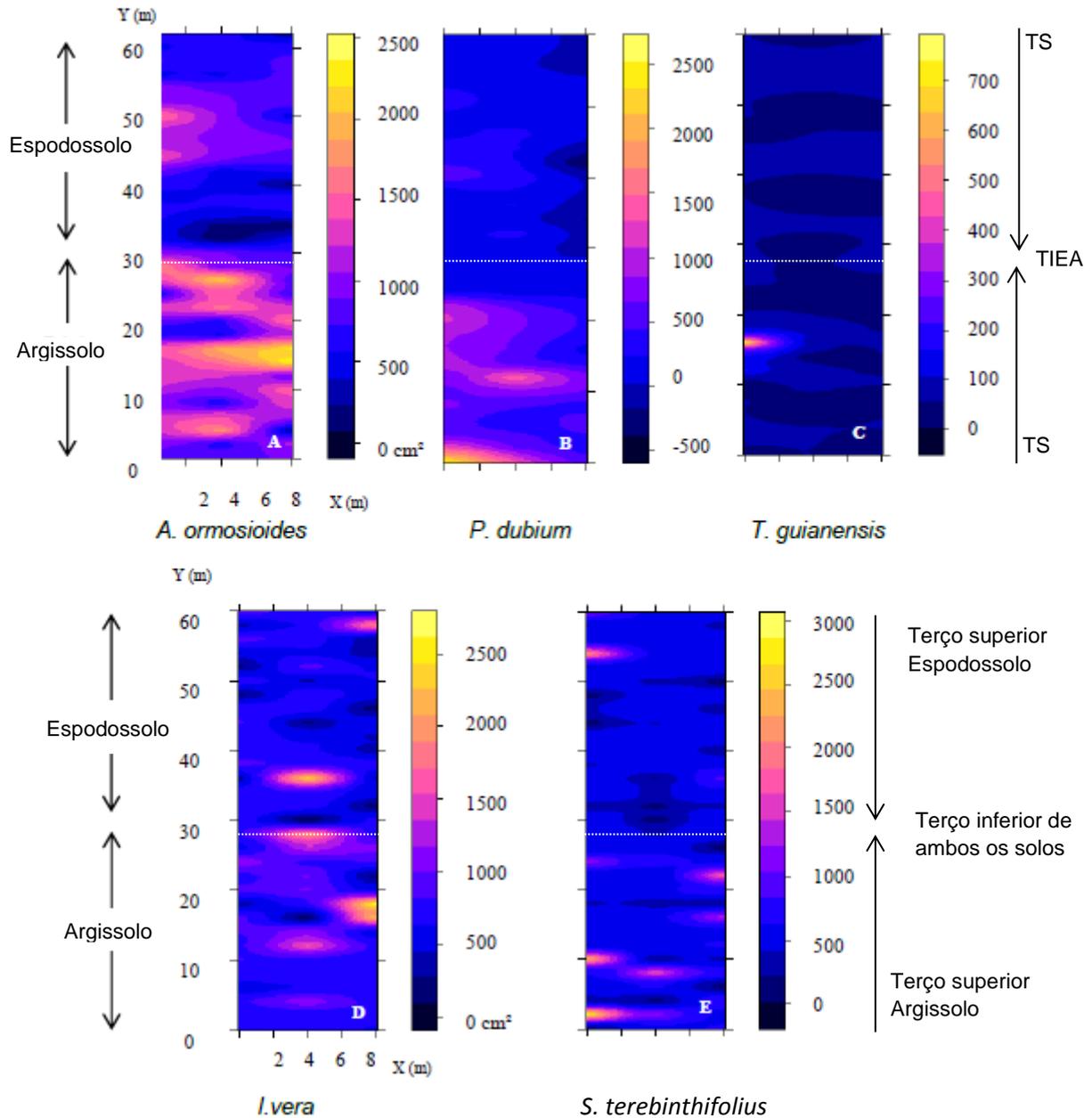


Figura 3 - Diagramas bidimensionais ilustrando a distribuição espacial dos IABs das espécies. Eixo X, distribuição de plantas nas linhas e Y distribuição das plantas nas pedossequências. Mudanças dispostas em declive decrescente de 0 a 30 m sobre Argissolo e de 60 a 30 m sobre Espodossolo. As cores amareladas indicam maior IAB<sub>(T0-T2)</sub>. TSA: terço superior Argissolo; TIEA: terços inferiores Espodossolo e Argissolo; TSE: terço superior Espodossolo.

## 1.4 – DISCUSSÃO

### 1.4.1 Desenvolvimento das plantas e suas relações com atributos do solo

As mudas de todas as arbóreas sobre Espodossolo Humilúvico apresentaram menor desenvolvimento em relação às plantadas sobre Argissolo Amarelo (tabela 4),

e apenas *I. vera* não demonstrou menor percentual de sobrevivência no Espodossolo (tabela 3). Ambos os solos possuem baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio (tabelas 1 e 2), características já relatadas por diversos autores em relação aos solos derivados do Grupo Barreiras (JACOMINE, 2001; ARAÚJO-FILHO, 2001). Dessa forma, as respostas das plantas podem estar pautadas na menor disponibilidade de íons no Espodossolo, comparativamente, mas principalmente, a menor profundidade efetiva neste sistema, imposta pelos horizontes espódicos ( $B_h$  e  $B_{hm}$  - tabela 1).

O horizonte espódico impermeável determina a presença de LESP, o qual, na medida em que vai se tornando mais espesso, diminui o volume de solo para trocas gasosas. Consequentemente, as espécies não adaptadas à saturação hídrica plena (na superfície ou próxima dela), ficam altamente prejudicadas quanto ao seu desenvolvimento (BOUMA, 1983; MARTINS et al., 2015; MEDRI et al., 2002). Em contrapartida, a menor profundidade efetiva do Espodossolo e sua textura arenosa também determinam menor capacidade de armazenamento hídrico, o que pode prejudicar certas espécies em épocas secas. Diante de um cenário pedológico tão inóspito, é possível que as diferenças verificadas no desenvolvimento das mudas possam encontrar explicação na grande amplitude hídrica anual com reflexos agravados pelos atributos pedológicos, que certamente afetam o desenvolvimento das espécies.

O contraste de cenários é tão grande que a vegetação nativa estabelecida sobre estes solos difere fortemente. Existem grandes diferenças florísticas e estruturais entre a “Floresta de Mussununga”, vegetação estabelecida sobre Espodossolos, daquela estabelecida sobre Argissolos - Florestas dos Tabuleiros. Na presença de Espodossolos a floresta adquire um aspecto mais aberto e de menor altura, menor diversidade de espécies e abundância de elementos xerófilos, o que a aproxima fisionomicamente das matas de Restinga (GARAY et al., 2003). Meira Neto et al. (2005) menciona que nas mussunungas é frequente a presença de camadas impermeáveis em subsuperfície, que podem provocar níveis de saturação hídrica elevados no período chuvoso. Saporetto-Junior (2008), afirma que restingas e campinaranas amazônicas são sistemas que possuem características similares às da mussununga; ambientes de pobreza extrema de nutrientes, com solos arenosos, ácidos, susceptíveis a altas temperaturas e insolação.

Em relação ao Argissolo, importante ressaltar que mesmo havendo restrições ao desenvolvimento das raízes impostas pelos horizontes coesos (SILVA; GIAROLA, 2001), ainda assim o desenvolvimento das plantas foi superior (tabela 4). Sabe-se que o atributo coeso é característico de horizontes subsuperficiais que, quando secos, apresentam consistência muito dura e extremamente dura, passando a friável ou firme quando úmidos (LIMA NETO et al., 2010). Essa característica afeta diretamente o desenvolvimento da vegetação, pois provoca além das citadas restrições às raízes, redução da profundidade efetiva do solo (CORRÊA et al., 2008; LIMA et al., 2004; SANTANA et al., 2006), e da emergência de plântulas, em decorrência da redução da disponibilidade de água e ar no solo (RAMOS et al., 2013). Outro fator importante do Argissolo é a presença de horizonte B textural ( $B_t$  - tabela 2), o qual impõe um determinado grau de umidade ao sistema sem, contudo, ser impeditivo ao escoamento como o caráter coeso.

Embora impedimentos desta natureza devam ser considerados, aparentemente, o pedoambiente dos Espodosolos é muito mais seletivo, impondo limitações muito mais severas ao desenvolvimento das mudas. Dessa forma, nesses ambientes a escolha das espécies mais adaptadas é fator ainda mais importante a se considerar.

#### 1.4.2 Sobrevivência e IAB das espécies ao longo das pedossequências

Apesar do período de estiagem pós-plantio poder ter afetado os percentuais de sobrevivência de todas as espécies (tabela 3), os padrões de distribuição delas ao longo das pedossequências não foram invalidados, já que os mesmos foram evidenciados tanto estatisticamente (tabela 5) quanto visualmente na forma dos diagramas (figura 3). Isto prova que o efeito destas variáveis definiu padrões claros do ponto de vista estatístico.

A observação dos resultados da tabela 5 e também da figura 3, permite inferir que a conformação das duas pedossequências, sujeitas a fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, enseja gradientes de umidade, os quais atuam como agentes restritores para o desenvolvimento da maioria das espécies. Ainda para análise dos resultados, vale comentar um princípio aqui adotado: quando os maiores incrementos são verificados na zona de saturação hídrica (entre as duas

pedossequências), menores efeitos terão os atributos do solo sobre as plantas, uma vez que, a saturação hídrica os mascara. O inverso é verdadeiro, ou seja; quanto mais afastado da água, melhor se farão sentir o efeito dos citados atributos de solo sobre o desenvolvimento destas devido à melhor condição de drenagem.

Vale ressaltar que os resultados de sobrevivência e desenvolvimento, em geral, abaixo do esperado, podem ser reflexos da expressiva competição com *U. humidicola*, pois a matocompetição é citada por Johanns; Contiero (2006) como fator atuante na diminuição de produção de culturas além de aumentar a lentidão da sucessão ecológica (Montoani; Torezan, 2016).

Diante desses pressupostos, o grupo formado por *A. ormosioides*, *P. dubium* e *T. guianensis* possui maior valor de IAB concentrado, sobretudo, nos terços médio e superior do Argissolo. Entretanto, *A. ormosioides* apresentou distribuição do IAB mais uniforme sobre toda a encosta do Argissolo e pontual concentrada no terço médio do Espodosolo (figura 3A), sugerindo que o terço inferior e o superior sobre o Espodosolo são inadequados ao seu desenvolvimento.

O percentual de sobrevivência de *P. dubium* (tabela 3) é resposta de certa forma esperada, pois em plantios experimentais a espécie tem se desenvolvido melhor em ambientes com maior oferta de nutrientes, bem drenados, de textura média e argilosa e sombreados (CARVALHO, 2003), condições diferenciadas deste ambiente experimental. Além de *P. dubium* ter sido sensível às variações impostas pelos atributos dos solos, percebe-se concentração dos maiores IABs nos terços médio e superior do Argissolo (figura 3B), o que retrata suas adaptações a ambientes mais permeáveis. Em experimento conduzido em casa de vegetação, Carvalho et al. (2015) constataram que as mudas foram altamente responsivas às condições ideais de umidade e disponibilidade de nutrientes no solo, sendo que o estresse hídrico age com mais vigor que a disponibilidade de nutrientes. Há certa analogia dos dados dos autores citados aos encontrados nesta pesquisa, pois, apesar dos maiores IAB estarem na porção superior da pedossequência do Argissolo, este ainda retém certa umidade e não está sujeito a saturação hídrica.

Os piores percentuais de sobrevivência de *T. guianensis* nos dois solos podem ter sua justificativa calcada em ambiente pobre em nutrientes. Apesar de sua ampla distribuição no Brasil (SILVA-LUZ, 2016), há relatos de sua ocorrência natural em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (BARBOSA, 2002), Floresta Estacional Semidecidual ribeirinha com influência fluvial sazonal (ROLIM et al., 2006) e matas

de galeria no bioma Cerrado (FONSECA et al., 2001), ambientes, em geral, com maior disponibilidade de nutrientes, em grande parte aportados pela própria vegetação, em relação aos solos da Formação Barreiras, degradados e deflorestados. No bioma Cerrado, a sobrevivência dessa arbórea em “áreas de empréstimo” foi de 92,7% aos 24 meses pós-plantio (SAMPAIO et al., 2008). Ao passo que a sobrevivência em cascalheira explotada, sobre Cambissolo Háplico eutrófico foi de 95,8% aos 5 anos de idade (STARR, 2009). Portanto, apesar de dos resultados das pesquisas citadas apontarem para percentuais de sobrevivência muito superiores ao desta pesquisa, a falta de informações mais detalhadas do processo de plantio, não permite uma análise comparativa rigorosa. Complementarmente, Lima (2014) referencia a espécie para recuperação de Latossolos e Cambissolos distróficos.

De comportamento oposto às espécies supracitadas, *I. vera* apresentou melhor desenvolvimento no terço inferior das duas pedossequências (figura 3D), legitimando sua adaptabilidade aos regimes hídricos de semi-saturação/saturação intermitente. Em pesquisa de Goulart (2005), em estabilização de voçoroca em Latossolo, a espécie apresentou melhor desenvolvimento no terço inferior da mesma, ambiente de maior teor de umidade, corroborando com os resultados desta pesquisa. Demonstrando sua plasticidade, a espécie também evidencia significativo IAB, nos terços médio do Argissolo e superior do Espodossolo, resultados incluídos a LOPES et al. (2012) e SANTOS et al. (2012). Além disso, é sabido que as espécies do gênero *Inga* se destacam em composição de plantios de recuperação de florestas ciliares e também para fins comerciais (CAMARA, 2011; PREISKORN et al., 2009), fortalecendo a importância do gênero.

Diferente das demais espécies, *S. terebinthifolius* não apresentou padrão de desenvolvimento nas pedossequências, tanto é que 92% de sua variância permaneceram inexplicadas pelas variáveis inseridas no modelo (tabela 5). No entanto, a espécie parece ter sido prejudicada pelas condições de hidromorfia/semi-hidromorfia presentes nos terços inferiores de ambas as margens (figura 3E), resultado que concorda com Barddal (2006), o qual afirma que a espécie não tolera níveis muito intensos de hidromorfia. Interessante salientar que em estudo de Weidlich (2011), mesmo submetida a inundações frequentes em Neossolo Flúvico, a espécie não foi prejudicada quanto ao crescimento e sobrevivência, condição também observada por Chiamolera et al. (2011) em Cambissolo semi-hidromórfico.

Já em ambiente de viveiro, mudas submetidas a alagamento apresentaram crescimento em altura e diâmetro de colo significativamente inferiores àquelas submetidas à semi-hidromorfia ou irrigação diária (GRISI, 2011).

Em relação à sobrevivência, *S. terebinthifolius* apresentou resultado bastante satisfatório em Argissolo Amarelo (tabela 3), constatação que encontra pertinência em Chiamolera et al. (2011). Segundo os autores, a espécie aos 24 meses de idade, em capoeira e área aberta sobre Cambissolo semi-hidromórfico, teve uma sobrevivência variável de 81 a 68%. Assim, pode-se inferir que a espécie possui certa plasticidade em relação à saturação hídrica, no entanto, tanto nas fases iniciais de viveiro, quanto nas condições observadas no presente estudo, a hidromorfia pode afetar seu desenvolvimento, concordando com Curcio et al. (2006), que a consideram espécie higrófila e mesófila.

Portanto, conforme afirmativa de Medri et al. (2002), o alagamento das raízes promove, muitas vezes, a redução do crescimento das plantas e neste estudo foi constatado não apenas a redução da parte aérea (IAB e altura), mas também redução da sobrevivência de todas as espécies submetidas a ambientes sujeitos à saturação/semi-saturação hídrica, com exceção de *I. vera*. Além disso, o padrão organizacional dos melhores desenvolvimentos ao longo das pedossequências deixou claro essa afinidade. Diante desses resultados, o direcionamento de plantio de espécies arbóreas nativas observando o grau de adaptabilidade das mesmas aos diferentes regimes hídricos dos solos possibilita redução, mesmo que sensível, de operações de replantio e manutenção das mudas (CURCIO et al, 2007), garantindo maiores condições para a recuperação de ambientes tão frágeis, desafiadores e essenciais como os quais se inserem as nascentes.

## 1.5– CONCLUSÃO

. Classes de solos tão distintas como são Argissolos e Espodossolos determinam potenciais diferenciados de sobrevivência e desenvolvimento de espécies;

. Desconsiderando a dependência espacial, dentre as cinco espécies analisadas, o tipo de solo afetou a sobrevivência de quatro, mas determinou maior IAB sempre sobre o Argissolo, indicando que o pedoambiente dos Espodossolos é inapto ao estabelecimento da maior parte das espécies selecionadas;

. Particularmente, *P. dubium*, *A. ormosioides* e *T. guianensis* exibiram respostas ao tratamento (tipo de solo) fortemente estruturadas no espaço, mas somente para *P. dubium* parte da variância atribuída aos solos não apresentou dependência espacial. Enquanto isso, as duas últimas espécies apresentaram padrões de estrutura espacial não relacionada com o tratamento, o que sugere a influência de algum gradiente de umidade que afeta, em ordem decrescente de efeito, *T. guianensis*, *P. dubium* e *A. ormosioides*.

. *Inga vera*, não apresentou resposta significativa ao tratamento, seja este estruturado no espaço ou não. As mudas dessa espécie demonstraram melhor desenvolvimento na porção inferior de ambas as encostas, podendo ser indicadas para plantio nesses ambientes;

- Conclui-se ainda que *A. ormosioides* pode ser plantada sobre toda a superfície do Argissolo, assim como na porção média do Espodossolo. O percentual de sobrevivência de *S. terebinthifolius* em Argissolo é um indicativo de que a espécie possa ser boa alternativa para o recobrimento de áreas degradadas sobre este solo, ainda que seu desenvolvimento tenha ficado aquém do esperado. *P. dubium*, somente será recomendado sobre os terços médio e superior do Argissolo, enquanto *T. guianensis* somente sobre o terço superior deste mesmo tipo de solo (embora o IAB tenha sido muito baixo).

## 1.6 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARAÚJO-FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES e SILVA, F. B. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil. In: CINTRA, L. F. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 123-142.

ARAÚJO-FILHO, J. C. **Horizontes cimentados em Argissolos e Espodossolos dos tabuleiros costeiros e em Neossolos Regolíticos e Planossolos da depressão sertaneja no Nordeste do Brasil**. 238 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo/ Instituto de Geociências. São Paulo, 2003.

ASSAD, L. Cidades nascem abraçadas a seus rios, mas lhes viram as costas no crescimento. **Ciência e Cultura**, v. 65, n. 2, p. 06-09, 2013.

BARBOSA, J.B.G. **Reprodução, dispersão primária e regeneração de *Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard, *Podocarpus sellowii* Klotzch e *Tapirira guianensis* Aubl. em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Paranaguá- PR**. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BARDDAL, M. L. **A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Aluvial do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e Cidades: uma longa e sinuosa história... **R. UFMG**, v. 20, n.2, p. 124-153, jul./dez, 2013.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. 12<sup>th</sup> edition. New Jersey, Prentice Hall. Upper Saddle River, 1999.

BLANCHET, G., LEGENDRE, P., BORCARD, D. Forward selection of spatial explanatory variables. **Ecology**, v. 89, n. 9, p. 2623–2632, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Portal da Legislação**, Brasília/DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em 02 de fev. 2016.

BIVAND, R.; HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Computing the Jacobian in Gaussian Spatial Autoregressive Models: An Illustrated Comparison of Available Methods. **Geogr. Anal.**, v. 45, n.2, p. 150–179, 2013.

BIVAND, R., PIRAS, G. Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. **J. Stat. Softw.**, v. 63, p. 1–36, 2015.

BOUMA, J. Hydrology and soil genesis of soils with aquic moisture regimes. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. C.; HALL, G. F. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. 1. ed. Elsevier Science Pub., p. 253-281, 1983.

CAMARA, ARMANDO TADEO RODRIGUEZ. **Armazenamento de sementes pré-germinadas de *Inga vera* Willd.** 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

CARDOSO, E.; SCHIAVINI, I. Relação entre distribuição de espécies arbóreas e topografia em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga (Uberlândia, MG). **R. Bras. Bot.**, v. 25, n. 3, p. 277-289, 2002.

CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; VILELA, E.A.; CURTI, N.; VAN DEN BERG, E. FONTES, M.A.L.; BOTEZELLI, L. Distribuição de espécies arbóreo-arbustivas ao longo de um gradiente de solos e topografia em um trecho de floresta ripária do rio São Francisco em Três Marias, MG, Brasil. **R. Bras. Bot.**, v.28, n.2, p.329-345, abr.-jun, 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**, (Vol. 1). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, R. P.; DAVIDE, L. M. C.; BORGES, F. L. G.; DAVIDE, A. C.; DANIEL, O. Respostas morfofisiológicas entre procedências de canafístula submetidas a diferentes condições hídricas e nutricionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.83, p.179-188, 2015.

CHIAMOLERA, L. D. B., ANGELO, A. C., BOEGER, M. R. Crescimento e sobrevivência de quatro espécies florestais nativas plantadas em áreas com diferentes estágios de sucessão no reservatório Iraí - PR. **Floresta**, v.41, n.4, p.765-778, 2011.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURTI, N; TORRES, TCP. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.297-313, 2008.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 488 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CURCIO, G. R., SOUSA, L. P., BONNET, A., & BARDDAL, M. L. Recomendação de espécies arbóreas nativas, por tipo de solo, para recuperação ambiental das margens da represa do rio Iraí, Pinhais, PR. **Floresta**, v. 37, n. 1, jan./abr., 2007.

CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; SEVEGANANI, L. **A geopedologia e sua influência sobre espécies arbóreas de florestas fluviais**. Documentos n. 135, Colombo, PR: Embrapa Florestas. 2006.

DRAY, S., LEGENDRE, P., PERES-NETO, P.R. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecol. Modell.** v.196, p. 483–493. 2006.

DINIZ-FILHO, J.A.F., BINI, L.M., HAWKINS, B.A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v. 12, p. 53–64, 2003.

EISENLOHR, P. V. Persisting challenges in multiple models: a note on commonly unnoticed issues regarding collinearity and spatial structure of ecological data. **Braz. J. Bot.**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 365–371, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997.

FONSECA, C.E.L.; RIBEIRO, J.F.; SOUZA, C.C.; REZENDE, R.P.; BALBINO, V.K. Recuperação da vegetação de Matas de Galeria: estudos de caso no Distrito Federal e Entorno. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L.; SOUSA-SILVA, J. (Eds.) **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina, Embrapa Cerrados. 2001. p. 815-872.

GARAY, I.; KINDEL, A.; LOUZADA, M.A.P.; SANTOS, R.D. Diversidade funcional dos solos na Floresta Atlântica dos Tabuleiros. In: GARAY, I.; RIZZINI, C.M.(Orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003. p. 16-26.

GOULART, R.M. **Atributos de solos e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GRISI, F. A.; ANGELO, A. C.; BOEGER, M. R. T.; LEITÃO, C. A. E.; GALVÃO, S. F.; WENDLING, I. Morfoanatomia foliar em mudas de *Schinus terebinthifolius* sob diferentes níveis de saturação hídrica. **Floresta**, v.41, n.4, p. 881-894. 2011.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural- Proater 2011 - 2013**. Linhares/ES, 2011.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre os solos coesos no Brasil. In: CINTRA, L. F. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p – 19-46.

JOHANNIS, O.; CONTIERO, R. L. Effects of different periods of control and coexistence of weeds in the production and quality of cassava roots. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 3, p. 326, 2006.

KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B AND RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol Z.**, v. 15, n.3, p. 259-263, 2006.

LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LIBARDI, P.L.; MELO FILHO, J.F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: CINTRA, L. F. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p – 193-208.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E.; LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 467-476, 2004.

LIMA, P. A. F. **Eficiência de indicadores da restauração ecológica em mata ripária (fase de implantação) no bioma Cerrado, Gama-DF**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2014.

LIMA NETO, J. D. A., RIBEIRO, M. R., CORRÊA, M. M., DE SOUZA-JÚNIOR, V. S., DE ARAÚJO FILHO, J. C., LIMA, J. F. W. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 473-486, 2010.

LOPES, S. de F.; SCHIAVINI, I.; OLIVEIRA, A. P.; VALE, V. S. An ecological comparison of floristic composition in seasonal semideciduous forest in Southeast Brazil: implications for conservation. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, 2012.

MANTOANI, M. C.; TOREZAN, J. M. D. Regeneration response of Brazilian Atlantic Forest woody species to four years of *Megathyrus maximus* removal. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 141-146, 2016.

MARTINS, K.G.; MARQUES, M.C.M.; SANTOS, E.; MARQUES, R. Effects of soil conditions on the diversity of tropical forests across a successional gradient. **Forest Ecology and Management**, v. 349, p. 4-11, 2015.

MEDRI, M.E; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A.; COLLI, S.; MÜLLER, C. Estudos sobre tolerância ao alagamento em espécies arbóreas da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A (Eds.). **A bacia do Rio Tibagi**. Londrina, PR. 2002. p.133-172.

MEIRA NETO, J. A. A.; SOUZA, A. L.; LANA, J. M.; VALENTE, G. E. Composição florística, espectro biológico e fitofisionomia da vegetação de Muçununga nos municípios de Caravelas e Mucuri, Bahia. **Revista Árvore**, v. 29, n.1, p. 139-150, 2005.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A., KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858. 2000.

OKSANEN, J., BLANCHET, F., KINDT, R., LEGENDRE, P., MINCHIN, P., O'HARA, R., SIMPSON, G., SOLYMOS, P., HENRY, M., STEVENS, H., WAGNER, H. **Vegan: Community Ecology Package**. R package version, v.2, n. 2, p.1, 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. FONTES, M. A. L. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate<sup>1</sup>. **Biotropica**, n. 32, v.4b, p. 793-810, 2000.

PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Comput. Geosci.**, v. 30, p. 683–691, 2004.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P. Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v. 19, p. 174–184, 2010.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P., DRAY, S., BORCARD, D. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparisons of fractions. **Ecology**, v.87, p. 2614–262, 2006.

PINTO, L.P.; HIROTA, M., CALMON, M., RODRIGUES, R.R., ROCHA, R. Introdução. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz"/Instituto BioAtlântica, São Paulo, 2009. p.10-13.

PREISKORN, G.M.; PIMENTA, D.; AMAZONAS, N.T.; NAVE, A.G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R.; BELLOTTO, A.; CUNHA, M.C.S. Metodologia de restauração para fins de aproveitamento econômico (reserva legal e áreas agrícolas). In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz"/Instituto BioAtlântica, São Paulo, 2009. p.162-179.

QUINN, G.P., KEOUGH, M.J. **Experimental Design and Data Analysis for Biologists**. Press, Cambridge University, Cambridge, 2002.

RAMOS, M. R.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; MELO, V. D. F.; UHLMANN, A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da formação Macacu, no estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 837-845, 2013.

RENKA, R., GEBHARDT, A. **tripack**: Triangulation of irregularly spaced data. 2013.

REATTO, A.; SPERA, S.T.; CORREIA, J.R.; MARTINS, É.S.; MILHOMEN, A. Solos de ocorrência em duas áreas sob Matas de Galeria no Distrito Federal: aspectos pedológicos, uma abordagem química e físico-hídrica. In: Ribeiro, J.F.; Fonseca,

C.E.L.; SOUZA-SILVA, J.C (Orgs). **Cerrado**: caracterização e recuperação de Matas de Galeria, 2001. p.115-142.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. D. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Rev. Árvore**, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.

RODRIGUES, R.R.; SHEPHERD, G.J. Fatores Condicionantes da Vegetação Ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. p. 101-108.

ROLIM, S. G.; IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NASCIMENTO, M. T.; GOMES, J. M. L.; FOLLI, D. A.; COUTO, H. D. Composição florística do estrato arbóreo da floresta estacional semidecidual na planície aluvial do rio Doce, Linhares, ES, Brasil. **Acta Bot. Bras**, v. 20, n.3, p. 549-561, 2006.

RONQUIN, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de pesquisa, Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

R TEAM, development core. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2012.

SAMPAIO, J.C.; FELFILI, J.M.; PINTO, J.R.R.; FAGG, C.W. Síntese de experiências em recuperação de áreas degradadas com espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado. In: FELFILI, J.M.; SAMPAIO, J.C.; CORREIA, C.R.M.de A. **Bases para a Recuperação de Áreas Degradadas na Bacia do São Francisco**. Brasília, Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD), 2008. p. 27-40.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p.1-12, 2006.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, M. F.; SERAFIM, H.; SANO, P.T. Composição e estrutura arbórea em floresta estacional semidecidual no Espinhaço Meridional (Serra do Cipó, MG). **Rodriguésia**, v. 63, n. 4, p. 985-997. 2012.

SAPORETTI JUNIOR, A. W. **Vegetação e solos de Muçununga em Caravelas, Bahia**. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2009.

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R. *Anacardiaceae* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB4408>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. Estabelecimento de índice de resistência dos solos para quantificação dos graus de coesão. In: CINTRA, L. F. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p – 145-160.

SOS Mata Atlântica; INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica- período 2012-2013**. São Paulo, 2014.

STARR, C. R. **Avaliação da sucessão ecológica e do desenvolvimento de árvores em uma lavra de cascalho revegetada do Distrito Federal, DF - Brasil**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2009.

UHLMANN, A. **Análise estrutural de duas áreas de vegetação savânica (Cerrado) sob influência de gradientes ambientais complexos**. 103 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

VÍCENS, R.S.; AGAREZ, F.V.; GARAY, I. A região da REBIO Sooretama e da Reserva de Linhares e seu entorno: das características físico-geográficas ao uso da terra. In: GARAY, I.; RIZZINI, C.M.(Orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Petrópolis: Vozes, 2003. p. 7-15.

WEIDLICH, E.W.A. **Desenvolvimento de espécies arbóreas nativas e competição com *Brachiaria humidicola* em área de restauração de floresta fluvial**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

## 2 - CAPÍTULO 2

### ADUBAÇÃO E FATORES AMBIENTAIS EM VERTENTES CURTAS PODEM AFETAR A SOBREVIVÊNCIA E O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS FLORESTAIS?

#### RESUMO

Buscou-se com esta pesquisa testar o efeito da adubação e da distribuição espacial no desenvolvimento de mudas plantadas em margem degradada de canal de drenagem intermitente (Área de Preservação Permanente – APP). Mudas de 14 espécies arbóreas foram plantadas em seis linhas perpendiculares ao canal de drenagem, em espaçamento 2 x 2 metros, havendo 15 plantas em cada linha. Somente três destas linhas receberam adubação de cobertura, constituindo o tratamento. Foi aplicado o teste qui-quadrado para comparar as médias de sobrevivência e o teste t para comparar as médias de incremento em área basal (IAB) das mudas. Moran Eigenvector's Maps (MEMs) foram utilizados para isolar o efeito da estrutura espacial. Embora a adubação somente tenha afetado uma espécie (*Citharexylum myrianthum*), para cinco delas (*Protium heptaphyllum*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Peltophorum dubium*, *Myracrodruon. Urundeuva* e *C. myrianthum*) a variância compartilhada dos efeitos da adubação e a distribuição das plantas em pedossequência resultaram em respostas significativas, sejam estas estruturadas no espaço ou não estruturadas. Para todas as demais espécies, ainda que o tratamento não tenha resultado em IAB significativamente maior, as respostas estruturadas no espaço sugeriram provável interferência de gradiente hídrico ao longo da pedossequência no desenvolvimento das plantas.

**Palavras-chave:** Recuperação florestal. Adubação. Gradientes de umidade no solo. MEM.

## ABSTRACT

The aim of this research was to test the effect of fertilization and spatial distribution of seedlings planted in degraded margins of an intermittent drainage canal. Seedlings of 14 tree species were planted in six rows perpendicular to the drainage canal, spaced at 2 x 2 meters, with 15 plants in each row. The treatment which was employed consisted of the administration of covering fertilization on three of the planted rows. The chi-square test was used to compare the means of survival, and a t test was used to compare the increase of mean basal area (MBA) of the seedlings. Moran Eigenvector's Maps (MEMs) were used to isolate the effect of spatial structure. Although fertilization only affected one specie (*Citharexylum myrianthum*), five of the other species (*Protium heptaphyllum*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Peltophorum dubium*, *Myracrodruon. Urundeuva* e *C. myrianthum*) showed significant responses to fertilization, structured in space or not structured. For all other planted species, although the treatment did not result in significantly higher IAB, the responses structured in space along the slope suggest the existence of a soil humidity gradient interfere in plants development.

**Key-words:** Forest restoration. Fertilization. Soil moisture gradientes. MEM.

## 2.1 - INTRODUÇÃO

A vegetação ribeirinha ocupa áreas limitadas ao longo de cursos d'água de pequeno, médio e grande porte (GARCIA, 2012; RIBEIRO; WALTER, 1998;) formando verdadeiros mosaicos vegetacionais (RODRIGUES; SHEPHERD, 2000), os quais variam de acordo com a dinâmica interativa entre o ecossistema aquático e terrestre (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000). No Brasil, muitas das áreas contidas na porção próxima aos canais de drenagem perenes e intermitentes constituem as “Áreas de Preservação Permanente” (APPs), protegidas legalmente, de forma mais específica, desde o Código Florestal de 1965 (Lei nº 4.771/1965, alterada recentemente pela Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). Entretanto, mesmo diante do respaldo legal, a sua preservação não foi garantida, fato observado praticamente em todo o país e que afeta diretamente processos relacionados à qualidade hídrica dos flúvios à jusante (AB'SABER, 2000). Diante desse panorama, buscar salvaguardar e recuperar a vegetação ribeirinha de maneira assertiva torna-se uma medida emergencial.

Os primeiros projetos de restauração, que iniciaram apenas com plantio de árvores de maneira dispersa, sem critérios ecológicos de escolha e sem planejamento para a combinação e disposição das espécies no plantio (BELLOTTO et al., 2009), têm se dinamizado, buscando integrar processos ecológicos responsáveis pela reconstrução de uma floresta (ISERNHAGEN et al., 2009). Nesse sentido, para se alcançar êxito na restauração/recuperação de ecossistemas degradados, é necessário aplicar estratégias baseadas no estado de inter-relação e interdependência de componentes e fenômenos químicos, físicos e biológicos que interagem no local (AUMOND, 2014).

Dessa forma, um olhar atento e pluridisciplinar para especificidades locais, tendo em conta restrições ambientais ao crescimento das espécies, é um passo importante para a geração de modelos eficientes de recuperação. Assim, evitam-se retrocessos, já que há casos em que as referências historicamente determinadas podem ser insuficientes para ajudar a desenvolver metas realistas para projetos de restauração/recuperação (HOBBS et al., 2011; KEENLEYSIDE et al., 2012; SEABROOK et al., 2011).

A maioria dos estudos voltados à recuperação de áreas degradadas tem se concentrado na avaliação de modelos, nos aspectos botânicos ou silviculturais,

todavia, o simples plantio de espécies da flora regional não garante sobrevivência dessas mudas no campo (SORREANO et al., 2012). Questões relativamente simples, tais como as exigências nutricionais das espécies arbóreas nativas obtidas em ensaios de campo, são muito escassas.

É provável que o baixo número de pesquisas relacionadas às exigências nutricionais das arbóreas nativas possa estar relacionado à alta diversidade da flora brasileira (COSTA FILHO et al., 2013), que exige o conhecimento de uma enorme variedade de demandas nutricionais específicas (FERNANDES et al., 2000), bem como a relativa demora em se obter resultados em trabalhos de campo, devido ao ciclo de vida mais longo das árvores e ainda à falta de uso econômico para a maioria dessas espécies. Há também uma lacuna entre pesquisas de fertilização de arbóreas nativas em relação às exóticas de interesse econômico, resultando na carência de recomendações norteadoras, que poderiam reduzir os erros de plantio, diminuindo a mortalidade, levando à redução dos custos da revegetação (ALYAS, 2003; LANG et al., 2011).

Além dos aspectos nutricionais, a interação entre componentes bióticos e físicos relacionados à distribuição das espécies em ambientes fluviais, pode ser determinante no êxito da recuperação florestal. Trabalhos desenvolvidos por Botrel et al., (2002), Carvalho et al. (2005), Curcio et al. (2006), Rodrigues; Shepherd (2000), Uhlmann (2003) e Van den Berg, Santos (2003), já relataram padrões de ordenamento das espécies em ambientes naturais de acordo com suas posições ao longo de encostas, planícies aluviais e matas ripárias assumindo afinidades hídricas das mesmas. Contudo, pesquisas avaliando como a distribuição espacial das espécies inseridas em programas de restauração/recuperação fluvial pode influenciar o estabelecimento e desenvolvimento das mesmas no ambiente ainda são escassas, como já observado por Weidlich (2011) e Pozzobon (2010).

A multiplicidade de variáveis ambientais que interferem na sobrevivência e no desenvolvimento das mudas de espécies florestais acompanha a diversidade da flora. Por isso, são de difícil interpretação, tendo em vista que os desenhos amostrais e experimentais nem sempre as consideram porque o seu efeito, talvez, sequer seja presumido. Entretanto, assim como as espécies em seu ambiente natural, também os fatores e recursos têm sua distribuição, em sua maioria, estruturados na paisagem. Para modelar esse tipo de distribuição, uma forma de análise relativamente nova tem sido empregada por meio do uso de variáveis

espaciais (DRAY et al., 2006). Embora estas possam ser utilizadas com o objetivo de isolar os efeitos da dependência espacial (BINI et al., 2009; DINIZ-FILHO et al., 2003), são elementos que auxiliam na interpretação de interações obscuras entre os fatores ambientais e as respostas bióticas que se deseja analisar (DALE; FORTIN, 2005). Algumas das pesquisas já publicadas no Brasil empregando variáveis espaciais tiveram foco na busca de padrões e processos em ambientes naturais (EISENLOHR et al., 2015; REZENDE et al., 2015; SAITER et al., 2015; SANCHEZ et al., 2013), mas até onde se sabe, não há publicações que tenham usado essa abordagem a fim de testar hipóteses em experimentos de recuperação ambiental no Brasil. Aliar então padrões de ordenamento espacial e afinidades nutricionais das espécies tem relação com a ocupação das mesmas na paisagem.

Portanto, esta pesquisa objetivou avaliar as seguintes hipóteses: 1) muitas das espécies testadas responderão à adubação em virtude de habitarem pedoambientes de elevada fertilidade ao longo de sua distribuição na América do Sul e; 2) as espécies devem apresentar padrões espaciais de sobrevivência e desenvolvimento. Estas duas hipóteses certamente alimentarão o conjunto de informações necessárias para a recomendação de espécies visando plantios de recuperação em áreas ripárias.

## **2.2 - METODOLOGIA**

### **2.2.1 Características e localização da área experimental**

Esta pesquisa foi realizada em área com 5.400 m<sup>2</sup>, incluindo margem esquerda de APP fluvial (foto 3) com hidromorfia temporária na Fazenda São Marcos, Linhares, ES, (-19.214777° e -40.051414°). A declividade média da encosta é de 9%.

A área está inserida no bioma Mata Atlântica, cuja vegetação predominante é a da Floresta Estacional Semidecidual. O clima ao qual a área está sujeita é do tipo Aw - tropical com estação seca de inverno (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média de 23,4°C (INCAPER, 2011).



Foto 3 - Visão geral da área experimental, previamente ao plantio (na margem esquerda).

A partir de março de 2013 instalou-se um pluviômetro na área experimental, no qual foram tomadas medidas diariamente. Entre o mês do plantio (novembro de 2012) e a instalação do citado pluviômetro, as somas pluviométricas foram cedidas pela Reserva Natural da Vale, em Linhares, a qual se localiza a oito quilômetros (km) da área experimental. As somas pluviométricas mensais de todo o período de monitoramento podem ser observadas no gráfico 1, apresentado na página 17 do capítulo 1.

### 2.2.2 Geologia e solos

O experimento está instalado sobre área com características típicas dos tabuleiros costeiros, desenvolvido em pacote de sedimentos continentais do Grupo Barreiras, com formas de relevo predominantemente suaves (GARAY, 2003). Os tabuleiros se estendem por quase toda a faixa costeira do Brasil, desde o estado do Amapá até o estado do Rio de Janeiro, com extensão até o vale do rio Paraíba do Sul, em São Paulo (JACOMINE, 2001).

A área experimental está assentada sobre talude marginal de um córrego (Foto 3), no qual predomina Argissolo Amarelo distrocoeso típico A moderado textura média/argilosa em relevo ondulado (9% de declividade), limítrofe à uma área de Gleissolo Háptico. Os solos foram classificados de acordo com Santos et al. (2013).

### 2.2.3 Preparo da área/plantio

As atividades de pré-plantio incluíram combate às formigas cortadeiras, que começou três meses antes do plantio por meio da distribuição iscas formicidas à base de sulfluramida. As iscas foram quinzenalmente distribuídas na quantidade de 3 g/m<sup>2</sup> em área total e 5 g a cada 2 m na área circundante ao experimento durante o trimestre. Um mês antes do plantio também se realizou roçada semi-mecanizada de pastagem de *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga, em área total, mantendo-se a cobertura do solo.

As covas foram abertas com motocoveadora, nas dimensões de 40 cm de profundidade por 20 cm de diâmetro. A adubação de base foi realizada com 2 l de esterco curtido + 90 g de termofosfato + 10 g de micronutrientes – FTE e 20 g de adubo NPK (20-05-20), em todas as covas. Posteriormente, foi realizado o plantio de quatorze espécies nativas: *Astronium graveolens* Jacq., *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Tapirira guianensis* Aubl., *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand, *Simarouba amara* Aubl., *Citharexylum myrianthum* Cham., *Andira ormosioides* Benth., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr., *Bowdichia virgilioides* Kunth, *Inga laurina* (Sw) Willd., *Inga vera* Willd., *Parapiptadenia pterosperma* (Benth.) Brenan e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub, em linhas de 30 m perpendiculares ao canal de drenagem, que possui largura em torno de 5 m.

Cada espécie foi plantada em seis linhas paralelas, cada qual com 15 mudas em espaçamento 2 x 2 m, subtotalizando 90 mudas por espécie (figura 4 - croqui simplificado) e 1.350 em todo plantio (anexo 5- croqui completo). A adubação de cobertura foi realizada em três das seis linhas monoespecíficas, as quais receberam no primeiro semestre de cada ano uma dose de 20 g cada de adubo NPK (20-05-20).

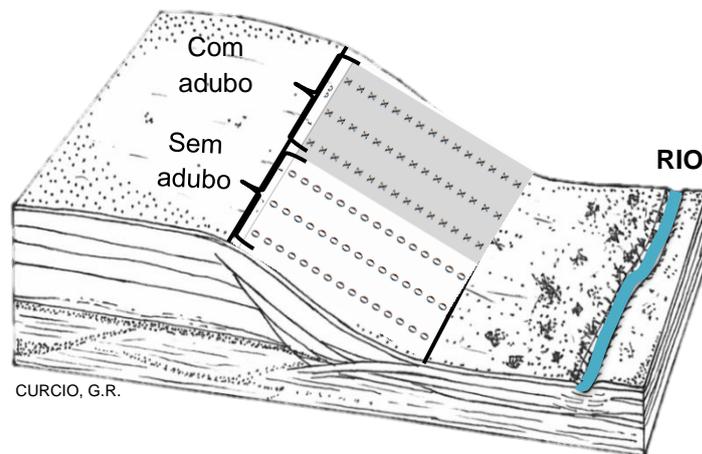


Figura 4 - Croqui simplificado da implantação do bloco de uma das 14 espécies, no qual metade das linhas recebeu adubação de cobertura.

Além da adubação de cobertura, os tratamentos silviculturais pós-plantio iniciaram um mês após a implantação do experimento com o replantio de mudas das espécies mortas. Foram realizadas roçadas semi - mecanizadas em fevereiro de 2013 (fotos 4A e 4B) e posteriormente, semestrais; além disso, atividades de manutenção em intervalos médios de 45 dias em épocas de chuva e 60 dias na seca, as quais consistiram de: coroamentos com raio de 50 cm e proteção das coroas com cobertura morta, todas realizadas ao longo dos 30 meses dessa pesquisa. O monitoramento e combate às formigas cortadeiras foram realizados de forma sistemática, quando se detectava ocorrência das mesmas, visto que a área experimental é circundada por povoados de empresas florestais privadas, que na ocasião estavam realizando colheitas e plantios e por isso, mantinham controle das formigas de maneira contínua. Quando necessário, foram distribuídas 2gr/m<sup>2</sup> de iscas formicidas à base de sulfluramida na área infestada e 5 g a cada 2 m na área que circunda o experimento.

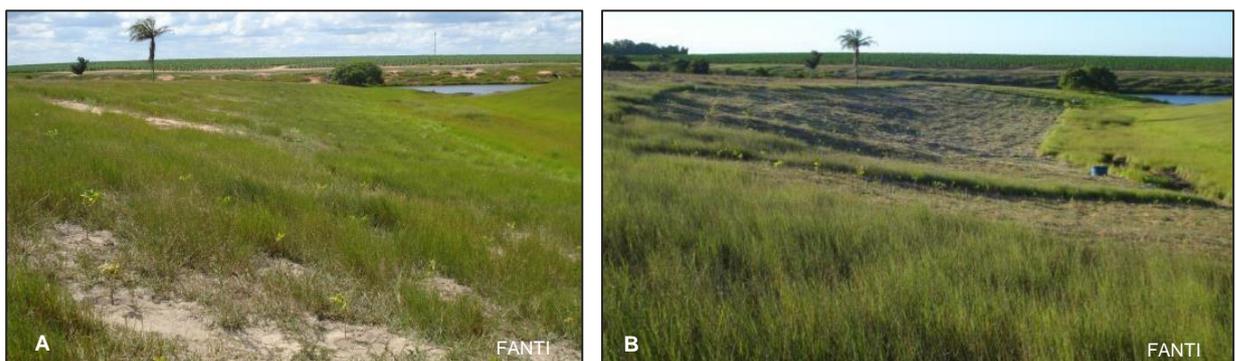


Foto 4: Área experimental previamente à roçada (A) e posteriormente (B) em fevereiro de 2013.

Em virtude da ausência de chuva em dezembro de 2012 (mês seguinte ao plantio), em janeiro de 2013, pequenas bacias para contenção da água da irrigação e possíveis chuvas foram construídas à jusante cada muda. As irrigações foram realizadas semanalmente com a aplicação de 4 a 6 l de água/cova durante três meses (dezembro de 2012, janeiro e fevereiro de 2013), a partir de março de 2013, as irrigações não foram tão periódicas, visto que a região passou a receber um pouco de chuva, ocorrendo apenas quando se presumia ser necessário.

#### 2.2.4 Coleta e análise de dados

As coletas e descrições dos perfis seguiram critérios estabelecidos em Lemos e Santos (1996), e as análises químicas e granulométricas das amostras de solos foram realizadas segundo a metodologia descrita em Embrapa (1997). As análises químicas envolveram a determinação de carbono orgânico, pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Ca, Mg, K, Na, Al, H, P, sendo obtidos os valores de soma de bases extraíveis (S), complexo de troca catiônica (T), relações de saturação por alumínio trocável (m%) e saturação por bases trocáveis (V%).

Os dados referentes ao diâmetro à altura do solo (DAS) e altura total (H) das mudas foram obtidos em coletas periódicas aos 6, 18 e 30 meses ( $T_0$ ,  $T_1$  e  $T_2$ , respectivamente). Somente as espécies cujo percentual de sobrevivência médio em  $T_2$  foi superior a 30% dos indivíduos foram analisadas. A sobrevivência foi avaliada através da construção de tabelas de contingência (2x2), contendo a contagem do número de indivíduos sobreviventes, à qual foi aplicado o teste qui-quadrado, admitindo nível de significância de 5%.

Ainda que os dados de crescimento tenham incluído dois parâmetros, altura e IAB ao longo de 30 meses, o principal interesse foi averiguar o IAB total (de  $T_0$  a  $T_2$ ), devido a maior precisão dos dados obtidos com paquímetro como instrumento de medição do DAS. Assim, sua derivação imediata, ou seja, o IAB (vide fórmula 1, página 21), foi escolhido para executar os testes estatísticos.

Foram comparadas as médias do IAB das mudas das espécies com e sem adubação por meio do teste t de Student. Antes da análise, verificou-se a presença de heterocedasticidade pelo teste de Levene, aceitando  $H_0$  quando  $p > 0,05$ . Também

se verificou a normalidade da distribuição desses dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Complementarmente, os dados foram visualizados em gráficos, de modo a atestar a obediência a estas premissas, que quando não cumpridas, levaram à transformação dos dados (logarítmica, raiz quadrada, raiz cúbica e inversa), escolhendo aquele método que melhor atuasse no aumento da homogeneidade da variância (QUINN; KEOUGH, 2002).

Inicialmente, foram testados os dados de IAB quanto ao efeito do tratamento (adubado ou não adubado) através de teste t, desconsiderando os efeitos da dependência espacial. Posteriormente, foram utilizados MEMs (Moran Eigenvector Maps) para isolar o efeito da dependência espacial que costuma inflar o erro tipo I (DINIZ-FILHO et al., 2003; PERES-NETO et al., 2006; PERES-NETO; LEGENDRE, 2010;). Os MEMs foram gerados como autovetores extraídos a partir de matriz binária de conectividades entre os pontos amostrais (mudas plantadas), a qual deriva de uma triangulação Delaunay, na qual somente os vizinhos mais próximos são considerados conectados (DRAY et al., 2006). Para obtenção dos MEMs utilizou-se os pacotes `tripack`, `spdep` (BIVAND et al., 2013; BIVAND; PIRAS, 2015) e `spacemakeR` (DRAY et al., 2006) no R (R CORE TEAM, 2012). Os MEMs foram escolhidos através de seleção automática, conforme proposto por Blanchet et al. (2008) utilizando o script publicado em Eisenlohr (2014).

A partição da variância foi conduzida através do argumento `varpart()` do pacote `Vegan R` (OKSANEN et al., 2015), objetivando segregar a fração da variância explicada pelos elementos individuais do modelo (tratamento e espaço), a fração partilhada entre estes dois elementos, assim como aquela fração que, em geral, permanece inexplicada na forma de resíduos (PERES-NETO et al., 2006). Se a variação exclusivamente atribuída ao tratamento fosse significativa, aplicava-se testes de média aos dados da variável dependente, tendo os MEMs como co-variáveis a fim de atestar o efeito do tratamento independente do efeito do espaço. Da mesma forma, a partição da variância permitiu avaliar os efeitos das variáveis espaciais, as quais foram interpretadas como efeitos derivados de variáveis não incluídas no modelo, mas estruturadas no espaço, assim como a variância compartilhada que denota o efeito do tratamento estruturado no espaço.

Para facilitar a visualização da variação espacial do incremento de cada espécie, foram elaborados diagramas bidimensionais através de interpolação por Krigagem valendo-se do pacote `Gstat` (PEBESMA, 2004). A interpolação foi feita

através da estimação de parâmetros em modelos (esferoidais, gaussianos ou exponencial) ajustados aos variogramas, os quais foram testados através de validação cruzada. Os resultados interpolados foram utilizados somente para a construção de diagramas que ilustraram a distribuição espacial da variável dependente.

## 2.3 - RESULTADOS

### 2.3.1 Solos

O experimento está alocado, em sua maior parte, sobre Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado textura média/argilosa (foto 5A, tabela 6 e anexo 6). Entretanto, em seu terço final, os solos possuem uma curta zona de transição (Argissolo Amarelo Distrocoeso argissólico), com tendência à hidromorfia, sobretudo, em caráter intermitente. A presença de Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico A moderado textura arenosa/média (foto 5B e tabela 7), já marginal ao limite do experimento é a expressão máxima do caráter hidromórfico na porção proximal à drenagem.



Foto 5 - A) Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico. B) Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico.

Tabela 6 - Atributos granulométricos, químicos e físico-hídricos de Argissolo da área experimental, Linhares/ES.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	C	Valores				CH	DS	
						S	CTC	V	m			
Simb.	Prof. (cm)	g.kg <sup>-1</sup>			g.dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>		%		cm.h <sup>-1</sup>	Mg.m <sup>-3</sup>	
Ap	0-16	150	75	654	121	15,3	1,13	5,43	21	31	23,94	1,54
BA	16-35	263	137	468	132	9,6	0,71	5,01	14	58	6,67	1,51
Bt <sub>1</sub>	35-68	338	100	421	141	7,8	0,71	4,11	17	50	2,29	1,53
Bt <sub>2</sub>	68-112	400	50	407	143	8,7	1,11	3,51	32	21	NO	NO
Bt <sub>3</sub>	112-120	400	13	459	128	4,2	1,91	4,31	44	14	NO	NO

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável ; CH: condutividade hidráulica; DS: densidade do solo; NO = não observado.

Tabela 7 - Atributos granulométricos, químicos e físico-hídricos de Gleissolo de área marginal à área experimental, Linhares/ES.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	C	Valores				CH	DS	
						S	CTC	V	m			
Simb.	Prof. (cm)	g.kg <sup>-1</sup>			g.dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>		%		cm.h <sup>-1</sup>	Mg.m <sup>-3</sup>	
Ap	0-13	25	63	856	56	10,5	0,93	3,43	27	24	71,81	1,43
ACg	13-31	100	75	717	108	5,1	0,82	4,22	19	38	45,07	1,50
Cg <sub>1</sub>	31-57	200	50	591	159	9,6	0,81	3,31	24	50	NO	NO
Cg <sub>2</sub>	57-110	263	37	550	150	5,1	0,71	3,41	21	50	NO	NO

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável ; CH: condutividade hidráulica; DS: densidade do solo; NO = não observado.

No Argissolo Amarelo, a presença do horizonte B textural (Bt) se traduz por forte incremento de argila no horizonte subsuperficial, o que incorre em aumento da microporosidade. Esta condição, por sua vez, acarreta forte redução da permeabilidade do solo (tabela 6). Quanto às características químicas, a baixa saturação por bases caracteriza a distrofia do sistema.

Vale salientar que o terço final da rampa onde se encontra o experimento já se encontra, em profundidade, sob efeito da ascensão e descensão do freático, condição expressa pela presença de Gleissolo Háplico na curta planície de jusante.

Também os Gleissolos Háplicos são dessaturados, com baixa CTC e por consequência, com baixa oferta de nutrientes (tabela 7). Apesar de os horizontes apresentarem elevados teores de areia, que remeteriam à elevada condutividade

hidráulica, a presença de mosqueados (foto 4B), foi interpretada como o resultado de presença permanente ou semi-permanente de água no perfil devido à posição deste na paisagem.

### 2.3.2 Sobrevivência das arbóreas nativas

Após o plantio, as mudas passaram por um período expressivo de estiagem (aproximadamente 25 dias), fator que seguramente influenciou nos percentuais de sobrevivência. Dessa forma, do conjunto de quatorze espécies plantadas, somente onze foram testadas (tabela 8), uma vez observado o critério de exclusão daquelas cuja sobrevivência tenha sido abaixo de 30%. Seis espécies - *P. heptaphyllum*; *M. urundeuva*; *C. myrianthum*; *A. ormosioides*; *P. dubium* e *A. graveolens*, apresentaram sobrevivência média acima de 60%.

Apesar da maioria das espécies apresentarem baixos percentuais de sobrevivência, o efeito da adubação foi significativo ( $p < 0,05$ ) para *C. myrianthum*. Para essa espécie a adubação foi determinante no aumento de 26% da sobrevivência das mudas em relação àquelas não adubadas.

Tabela 8 - Sobrevivência (%) e resultado de teste qui-quadrado das espécies na presença ou ausência de adubação. Ordenação das espécies de acordo com maiores percentuais de sobrevivência das mudas adubadas.

Espécie	Com adubo (%)	Sem adubo (%)	P
<i>P. heptaphyllum</i>	75	76	1,00
<i>M. urundeuva</i>	75	56	0,05
<i>C. myrianthum</i>	66	40	0,03*
<i>A. ormosioides</i>	50	53	0,13
<i>P. dubium</i>	60	71	0,25
<i>A. graveolens</i>	58	67	0,38
<i>I. laurina</i>	57	50	0,51
<i>H. heptaphyllum</i>	45	45	1,00
<i>I. vera</i>	45	50	0,66
<i>A. leiocarpa</i>	33	43	0,37
<i>B. virgilioides</i>	29	40	0,25

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

### 2.3.3 IAB médio das arbóreas nativas

As espécies com maior IAB médio foram *B. virgilioides*, *I. vera*, *I. laurina* e *A. ormosioides*, mas nenhuma destas foi sensível à adubação. Considerando apenas o

efeito da adubação, ou seja, desconsiderando o efeito da dependência espacial, os testes aplicados mostraram que somente cinco espécies (*P. heptaphyllum*, *C. myrianthum*, *H. heptaphyllum*, *P. dubium* e *M. urundeuva*) apresentaram médias de IAB significativas nas linhas adubadas. A influência da adubação resultou em crescimento médio que superou várias vezes a média do tratamento não adubado (5,3 vezes superior para *P. heptaphyllum*, 4,4 para *C. myrianthum*, 3,4 para *H. heptaphyllum*, 2,89 para *P. dubium* e 1,89 para *M. urundeuva*) (tabela 9).

Na tabela 9, além dos dados de IAB, apresenta-se, a título de equivalência ilustrativa e para divulgação de mais dados experimentais de arbóreas nativas, as médias de diâmetro e altura mensurados em T<sub>2</sub>, mesmo que tais parâmetros não tenham sido analisados nessa pesquisa. Fotos das espécies seguem apresentadas no anexo 7 e tabelas ANOVA no anexo 8.

Tabela 9 - Resultados do teste t para a comparação de médias de IAB (cm<sup>2</sup>) mensuradas em T<sub>2</sub> entre linhas monoespecíficas com adubação e testemunhas, ordenados de forma decrescente do IAB das adubadas.

Espécie	Tratamento	IAB médio (cm <sup>2</sup> ) (T <sub>0</sub> -T <sub>2</sub> )	Diâmetro médio (cm) em T <sub>2</sub>	Altura média (cm) em T <sub>2</sub>
<i>B. virgilioides</i>	com adubo	20,28	5,07	257,92
	sem adubo	18,28	4,84	232,94
<i>I. vera</i>	com adubo	16,78	4,82	145,79
	sem adubo	13,77	4,29	127,86
<i>I. laurina</i>	com adubo	12,26	3,98	157,50
	sem adubo	8,22	3,29	156,67
<i>A. ormosioides</i>	com adubo	12,15	4,03	114,17
	sem adubo	11,39	3,78	102,60
<i>P. heptaphyllum</i> *	com adubo	8,17	2,89	131,77
	sem adubo	1,54	1,53	91,13
<i>A. graveolens</i>	com adubo	8,07	3,42	110,96
	sem adubo	7,67	3,12	96,00
<i>H. heptaphyllum</i> *	com adubo	7,30	3,11	120,79
	sem adubo	2,17	1,67	78,63
<i>P. dubium</i> *	com adubo	7,01	3,60	146,40
	sem adubo	2,43	2,18	80,67
<i>C. myrianthum</i> *	com adubo	4,04	2,63	69,67
	sem adubo	0,92	1,36	44,41
<i>A. leiocarpa</i>	com adubo	3,96	2,14	118,79
	sem adubo	1,88	1,52	90,56
<i>M. urundeuva</i> *	com adubo	3,57	2,33	108,47
	sem adubo	1,89	1,58	71,35

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

#### 2.3.4 IAB das arbóreas na pedossequência

A despeito de *P. heptaphyllum*, *H. heptaphyllus*, *P. dubium*, *C. myrianthum* e *M. urundeuva* terem apresentado respostas significativas à adubação, a adição dos MEMs ao modelo permitiu refinar a estrutura da variância. Pôde-se então separar percentuais da variância atribuídos ao tratamento (adubação), à distribuição do incremento que se encontra estruturada no espaço (aqui relacionados com as variáveis espaciais ou MEMs), ao efeito do tratamento que está estruturado no espaço e ainda à variância que permanece inexplicada, como resíduo (tabela 10). Mediante tal análise, houve expressão significativa da adubação somente para duas espécies: *P. heptaphyllum* e *C. myrianthum*, cujos percentuais da variância atribuída exclusivamente a esse tratamento foram de 5% e 9%, respectivamente. No entanto, enquanto para *P. heptaphyllum* a maior parte da variância do modelo permaneceu inexplicada (86%), para *C. myrianthum* uma boa parcela desta variação expressa uma resposta ao tratamento estruturada no espaço (27%).

Das demais três espécies que apresentaram resposta significativa à adubação quando os MEMs não foram considerados no modelo, todas apresentaram percentuais elevados de resposta à adubação estruturada no espaço, com valores de 10%, 22% e 25% para, respectivamente, *M. urundeuva*, *H. heptaphyllus* e *P. dubium*. Além de terem percentuais significativos de variância atribuída somente à estrutura espacial (63%, 12% e 48%, respectivamente).

As sete demais espécies analisadas sem médias de IAB sensíveis unicamente à adubação, tiveram percentuais significativos de variância atribuída somente à conectividade espacial (MEMs). Quando plotada na área experimental, a distribuição espacial da variável IAB para várias espécies mostrou-se claramente estruturada no espaço, denotando a existência de fatores ou recursos ambientais não reconhecidos e, portanto, não incluídos no modelo, mas organizados no espaço (tabela 10).

Dentre todas as espécies testadas, *P. dubium*, *A. leiocarpa* e *M. urundeuva*, apresentaram valores de variância atribuída aos MEMs tão elevados que a variância atribuída aos resíduos se reduziu abaixo de 50% (tabela 10).

Tabela 10 - Partição da variância atribuída ao modelo, considerando as respostas em IAB ao tratamento (adubação), respostas ao tratamento estruturadas no espaço (variância compartilhada), repostas estruturadas no espaço, mas não atribuídas a nenhum fator incluído no modelo (MEMs), bem como resíduos do modelo.

Espécie	Partição da variância			
	Efeito do tratamento	Efeito estruturado no espaço	Efeito do tratamento estruturado no espaço	Resíduo
<i>B. virgilioides</i>	-0,03	0,21*	0,01	0,81
<i>I. vera</i>	-1,5x10 <sup>-3</sup>	0,36*	0,01	0,63
<i>I. laurina</i>	0,02	0,40*	0,01	0,59
<i>A. ormosioides</i>	0,00	0,18*	0,00	0,84
<i>A. graveolens</i>	-0,01	0,46*	-0,01	0,55
<i>H. heptaphyllum</i>	0,02	0,12*	0,22	0,64
<i>P. dubium</i>	0,02	0,48*	0,25	0,26
<i>A. leiocarpa</i>	0,02	0,53*	0,07	0,42
<i>M. urundeuva</i>	-1,0x10 <sup>-3</sup>	0,63*	0,10	0,27
<i>C. myrianthum</i>	0,09*	-0,01	0,27	0,65
<i>P. heptaphyllum</i>	0,05*	0,02	0,07	0,86

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Por meio dos diagramas bidimensionais (Figura 5), são ilustrados os resultados apresentados na tabela 10. As respostas ao tratamento adubação revelam padrões de desenvolvimento como das Figuras 5A (*C. myrianthum*) e 5B (*P. heptaphyllum*), indicado pelo conjunto de cores amareladas, alocadas na metade esquerda de cada bloco, ratificando os resultados encontrados pelo teste t (tabela 9), mas também delimitando uma resposta estruturada no espaço, principalmente para *C. myrianthum*.

Na Figura 5C o crescimento de *I. vera* aparece de maneira mais acentuada no terço inferior, mais próximo ao flúvio, independentemente da adubação. Os indivíduos de *B. virgilioides* (5D), bem como os de *I. laurina* (5E) apresentam melhor desenvolvimento nos terços inferior e médio, mas não responderam significativamente à adubação. Enquanto isso *H. heptaphyllum* (5F), *P. dubium* (5G), *A. leiocarpa* (5H) e *A. graveolens* (Figura 5I), *M. urundeuva* (5K), tiveram desenvolvimento claramente concentrado no terço superior do talude e, portanto, trata-se de uma resposta estruturada no espaço e dependente do tratamento adubação, exceto para *A. graveolens*. A espécie *A. ormosioides* (5J) apesar de apresentar padrão espacial, não parece ter sua distribuição concentrada em algum terço da encosta ou mesmo responder à adubação.

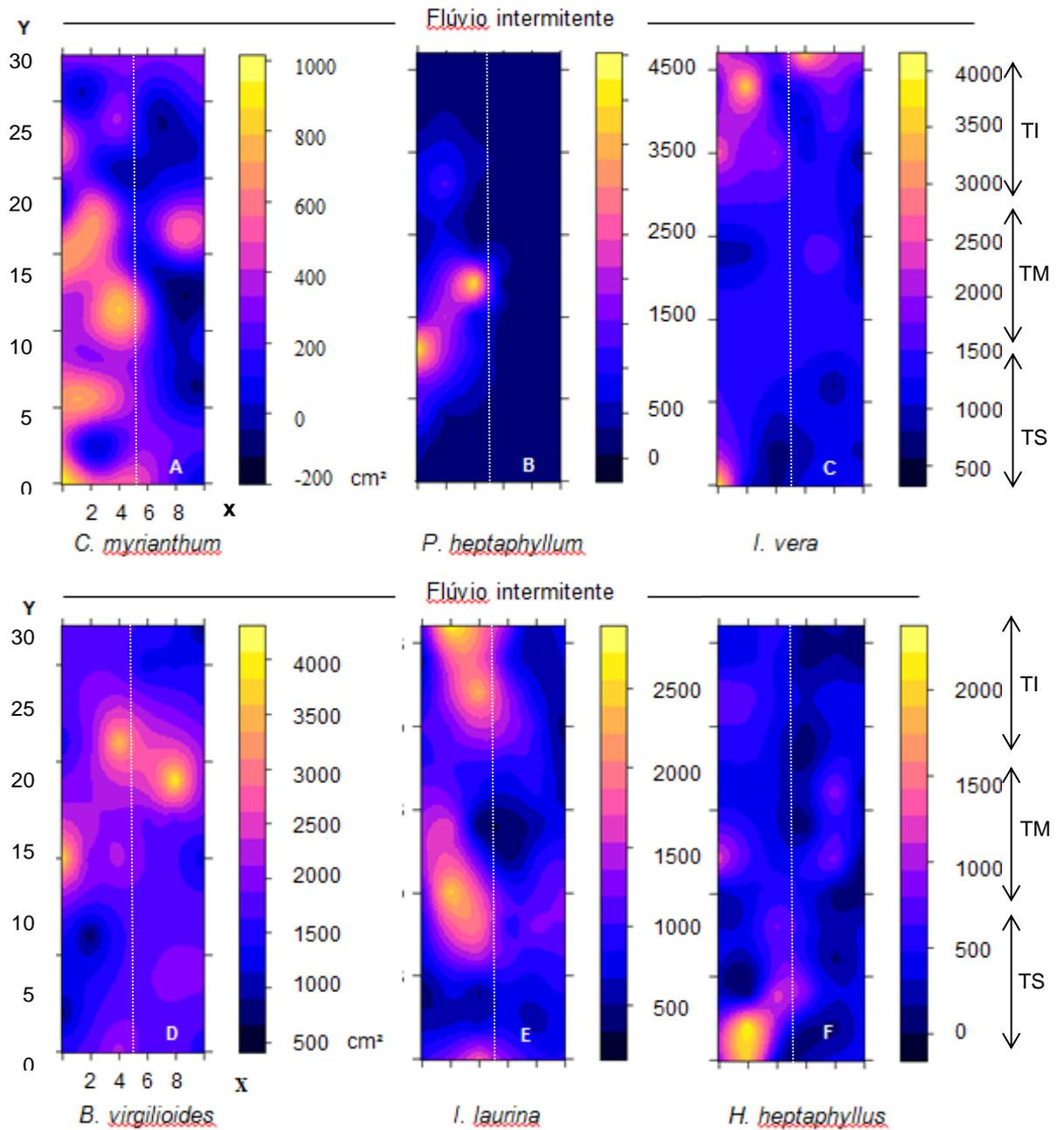


Figura 5 - Diagramas bidimensionais, com dados IAB das 11 espécies florestais considerando plantas adubadas (lado esquerdo), não adubadas (lado direito) e ocupação destas na pedossequência. Eixo X indica distribuição de plantas nas linhas e Y distribuição de plantas na rampa marginal fluvial. As cores amareladas indicam maior IAB<sub>(T0-T2)</sub> das mudas. TS / TM / TI = terços superior, médio e inferior.

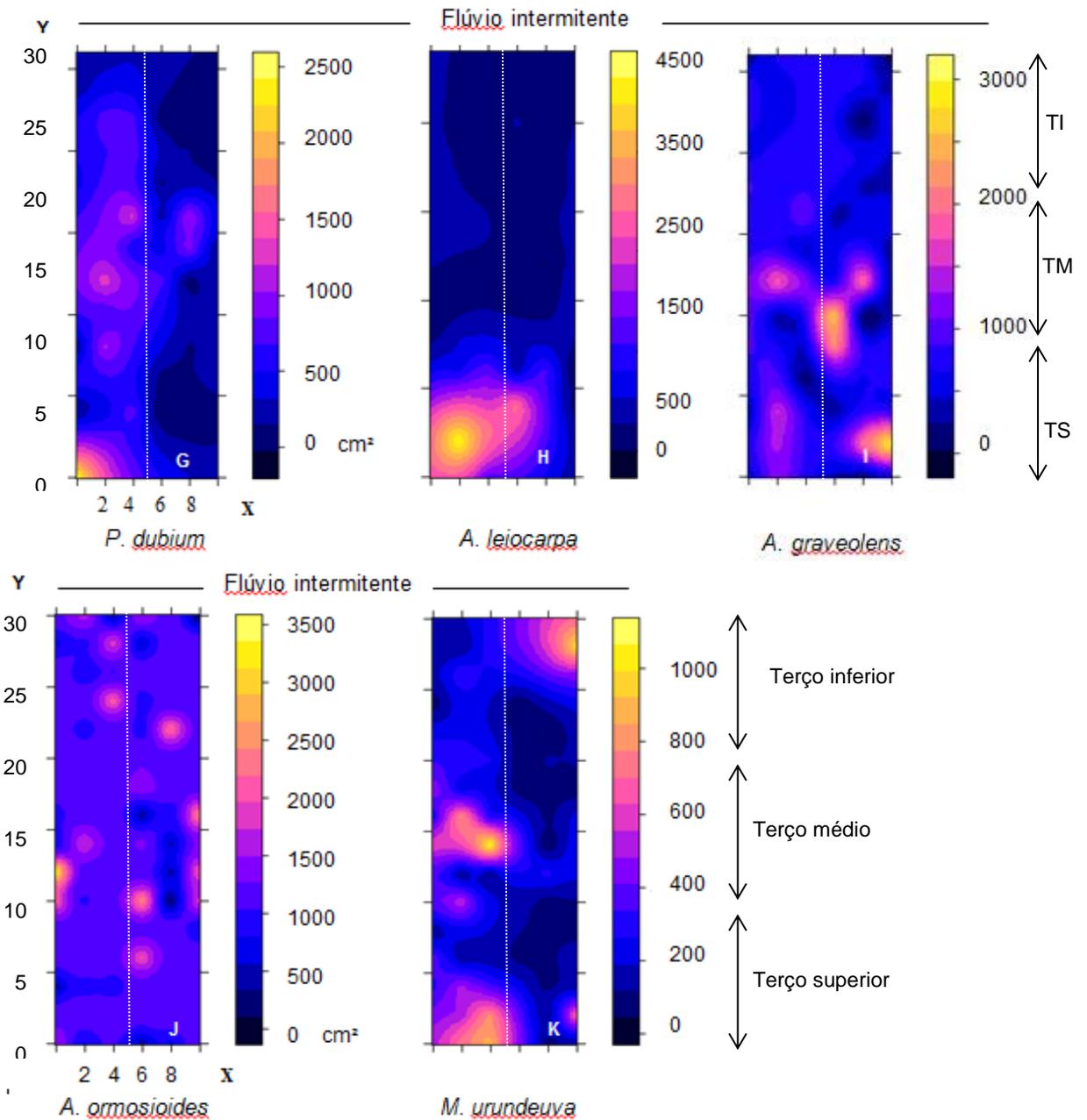


Figura 5 (continuação) - Diagramas bidimensionais, com dados IAB das 11 espécies florestais considerando plantas adubadas (lado esquerdo), não adubadas (lado direito) e ocupação destas na pedossequência. Eixo X indica distribuição de plantas nas linhas e Y distribuição de plantas na rampa marginal fluvial. As cores amareladas indicam maior IAB<sub>(T0-T2)</sub> das mudas. TS / TM / TI = terços superior, médio e inferior.

## 2.4 - DISCUSSÃO

### 2.4.1 Influência da adubação sobre a sobrevivência e IAB

Apesar do período de estiagem pós-plantio poder ter afetado os percentuais de sobrevivência de todas espécies (tabela 8), diante da baixa oferta de nutrientes nos solos (tabelas 6 e 7), fato relatado por diversos autores (ARAÚJO FILHO, 2001; JACOMINE, 2001), é esperada pequena resiliência da vegetação submetida aos processos de degradação. Assim, presumia que as plantas respondessem à adubação com reflexos tanto na sobrevivência quanto no IAB, mas os resultados não confirmaram esta expectativa.

Apenas *C. myrianthum* apresentou sobrevivência e IAB estatisticamente afetados pela adubação. Entretanto, mesmo nas linhas adubadas a sobrevivência e IAB médios dessa espécie foram bem inferiores ao encontrado em pesquisas desenvolvidas em planície fluvial (Silveira et al., 2013) e planície fluvial com solo eutrófico (Pozzobon et al., 2010). Constatações que sugerem que esta espécie depende de um nível de disponibilidade hídrica e de nutrientes que não são encontrados nos solos dos Tabuleiros Costeiros.

As espécies *P. heptaphyllum*, *H. heptaphyllum*, *P. dubium* e *M. urundeuva* também apresentaram IABs médios estatisticamente afetados pela adubação durante o período de acompanhamento (tabela 9). Contudo, uma vez eliminada a influência da dependência espacial através da inclusão dos MEMs no modelo, somente *P. heptaphyllum* e *C. myrianthum* se apresentaram sensíveis unicamente à adubação (tabela 10). Para as três espécies restantes, a distribuição espacial estruturada das mesmas ao longo da pedossequência indicou que não só a adubação redundou em resposta importante para o crescimento das mudas, mas também variáveis ambientais não inseridas no modelo analisado afetaram o IAB. A natureza destas variáveis será discutida mais adiante.

O IAB médio de *P. heptaphyllum* adubado foi superior em muitas vezes à média do tratamento testemunha, provavelmente por conta de sua ocorrência natural em solos dos tabuleiros de textura arenosa (CARVALHO, 2006), assim como em solos com afloramentos calcários no bioma Cerrado (PEREIRA, 2008), dando indício de que responde positivamente à adubação. Dessa forma, adaptada para sobreviver tanto em substrato sedimentar e dessaturado por bases dos tabuleiros,

quanto naqueles com afloramento calcário, a espécie não teve sobrevivência prejudicada nas linhas sem adubação, contudo é fato que o IAB foi bastante afetado em condição de baixa oferta de nutrientes no solo (distrófico).

#### 2.4.2 Distribuição do IAB ao longo da pedossequência

Foi identificada estrutura espacial significativa estatisticamente e não vinculada ao efeito da adubação para o IAB de nove das onze espécies analisadas (tabela 10). Esse efeito pode ter se dado por conta de o terço final do experimento estar sobre Argissolos com caráter gleissólico, ou seja; possuem elevação dos teores de umidade em profundidade, dado o efeito da ascensão e descensão do freático no Gleissolo Háptico, alojado no final da pedossequência. Dessa forma, o gradiente de umidade na rampa pode ter sido responsável pela geração de um padrão comum para várias das espécies analisadas: a concentração da sobrevivência e principalmente o maior IAB nos terços superior e médio da pedossequência (figura 5). Este resultado sugere que gradientes de umidade ao longo da pedossequência, mesmo em pequenas proporções, podem ser os responsáveis pela estruturação das respostas destes parâmetros.

Pelo contrário, as duas espécies do gênero *Inga* tiveram crescimento influenciado positivamente por sua posição no terço inferior do talude. As duas espécies, *I. vera* e *I. laurina*, são reconhecidamente de ambientes mais úmidos (LORENZI 1998), e destacadas, assim como outras espécies do gênero, para compor plantios de recomposição de florestas ciliares e recuperação de áreas (BILIA et al., 2003; CAMARA, 2011). O desenvolvimento de *I. laurina* no terço médio, além do terço inferior do talude, também se deu de maneira expressiva.

No terço médio do talude, as mudas de *B. virgilioides* se desenvolveram de maneira mais expressiva que no terço superior, resultado que contrasta com referenciais de Santos et al. (2012) e Carvalho (2006).

Apresentando a maior média de IAB dentre as demais espécies, *A. ormosioides* exibiu no diagrama (Figura 5J), pontos de maiores concentrações de IAB distribuídos em toda a pedossequência, demonstrando boa adaptação às condições às quais foi submetida. Relatos da amplitude de ambientes ocupados por essa espécie vão ao encontro desse resultado. Autores como Lopes et al. (2012) e Santos et al. (2012) já encontraram *A. ormosioides* sobre Latossolos, portanto,

ambientes, em geral, não sujeitos à hidromorfia ou semi-hidromorfia, ao passo que Rolim et al. (2006) encontrou a arbórea em planície aluvial, ambiente mais sujeito à umidade. Entretanto, a baixa sobrevivência da espécie indica que, apesar de versátil, por ocupar diferentes posições da encosta, necessita de mais estudos para avaliar sua indicação para plantios para fins de recuperação. Contudo, a mesma espécie testada no experimento de nascente, também sobre Argissolo Amarelo, apresentou sobrevivência média 86% (tabela 3), ou seja, 33% superior àquelas no Argissolo Amarelo da APP de rio adubadas (tabela 8 - PALMA, em preparação). Infere-se que tal diferença possa ter se dado por conta das mudas da nascente terem recebido hidrogel no plantio, o que provavelmente as favoreceu durante o período de veranico.

Em contrapartida, a apropriação de recursos por parte das plantas nos terços médio e, principalmente, superior da pedossequência, foi responsável por melhor desenvolvimento e sobrevivência de: *P. dubium*, *A. leiocarpa*, *A. graveolens*, *M. urundeuva* e *H. heptaphyllus*, espécies reconhecidamente comuns em ambientes menos úmidos, conforme relatos de Santos et al. (2012), Silva et al. (2001), Jesus et al. (2005) e Lopes et al. (2012).

Para *A. graveolens*, *P. dubium* e *A. leiocarpa* as variáveis espaciais, que se julga estarem relacionadas à pedossequência, foram responsáveis por 46, 48 e 53% da variância total de seus respectivos modelos (tabela 10). Em plantios experimentais *P. dubium* e *A. leiocarpa* têm se desenvolvido melhor em ambientes com maior oferta de nutrientes, bem drenados, de textura média e argilosa com certo grau de sombreamento (CARVALHO, 2003), condições não satisfeitas como um todo pelo ambiente experimental. Pesquisas de Garrido et al. (1997) e Santos (2014) indicam *A. graveolens* para plantio de enriquecimento, ou seja, sob certo grau de sombreamento, em locais cujos solos não estejam sujeitos à hidromorfia. A falta de afinidade hídrica dessas espécies, também foi confirmada nessa pesquisa (figura 5 - G, H e I).

Já para *M. urundeuva* a estruturação espacial do IAB ao longo da pedossequência foi responsável por 63% da variância do modelo (tabela 10). Essa resposta reflete a concentração do crescimento, sobretudo, nas linhas adubadas do terço superior. Tal condição pode ser atribuída à avidez da espécie por solos ricos em cálcio, dada a sua frequente ocorrência em levantamentos de florestas decíduais, inclusive, como forte indicadora de manchas de solos mais férteis e bem

drenados no Brasil Central (FAGUNDES, 2007; LOPES et al., 2012; PRADO; GIBBS, 1993). Nessa linha, pesquisa de Gusson et al. (2011) também relatou influência da umidade sobre o decréscimo da população de *M. urundeuva* em ambiente de saturação hídrica às margens de reservatório artificial.

A partição da variância ainda demonstrou que para *H. heptaphyllus* e *P. dubium*, 22 e 25% da diferença entre linhas com tratamento e testemunhas, correspondem, respectivamente, a respostas influenciadas pela adubação estruturada no espaço, enquanto que para *M. urundeuva*, esse percentual foi de 10% (tabela 10). Sendo assim, o plantio dessas três espécies em ambientes mais secos, onde há possibilidade de adubação, tem maiores chances de ser eficiente ecológico e economicamente. Já *A. graveolens* e *A. ormosioides* que também se desenvolveram de maneira indiferente à adubação, apresentaram melhores resultados, respectivamente, no terço superior (Figura 5I) e na rampa como um todo (Figura 7J). Ambas as espécies podem ser alternativas interessantes para aumentar diversidade de plantios de recuperação com menor alocação de custos, sem, contudo, afetar o crescimento médio das mudas.

## 2.5 – CONCLUSÃO

- Cinco espécies responderam positivamente à adubação de cobertura (*H. heptaphyllum*, *P. dubium*, *M. urundeuva*, *C. myrianthum* e *P.heptaphyllum*). Embora somente as duas últimas tenham tido efeito significativo do tratamento quando isolado o efeito da estrutura espacial, todas, exceto *P.heptaphyllum* apresentaram respostas à adubação estruturada no espaço, definindo que tanto a adubação quanto a posição na encosta devem ser considerados na implantação de plantios destas espécies.

- Para as demais seis espécies as respostas ao tratamento, estruturado ou não no espaço, não foram importantes. Apesar disso, a distribuição espacial do IAB sugere repostas a um gradiente hídrico determinado pela intolerância à um determinado grau de umidade no solo.

- Diante das conclusões acima, sugere-se que as seguintes espécies possam ser indicadas para composição de plantios iniciais em APPs, mais especificamente quando estes ambientes encontram-se degradados e marginais às planícies da Formação Barreiras:

.Terço inferior: *I. vera*, *I. laurina* e *A. ormosioides*

.Terço médio: *B. virgilioides*, *I. laurina*, *P. heptaphyllum* (adubada), *A. ormosioides*

.Terço superior: *A. graveolens*, *H. heptaphyllum* (adubada), *P. dubium* (adubada) e *A. ormosioides*.

- A alta mortalidade do experimento como um todo ressalta a importância de planejamento para escolha e alocação das espécies em posições diferenciadas na encosta, ação que certamente contribuirá na eficiência ambiental e econômica às iniciativas de recuperação de áreas degradadas.

## 2.6 – REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AB'SABER, A.N. O suporte geoecológico das Florestas Beiradeiras (Ciliares). In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. p. 15-26.

ALYAS, W. W. F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2 p. 1 - 17, 2003.

ANDREAZZA, R.; ANTONIOLLI, Z. I.; OLIVEIRA, V. L.; LEAL, L. T.; MORO JUNIOR, C. A. M.; PIENIZ, S. Ocorrência de associação micorrízica em seis essências florestais nativas do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 339-346.

AUMOND, J. J.; MAÇANEIRO, J. P. Abordagem sistêmica e aplicação de rugosidades para desencadear propriedades emergentes em restauração de solos degradados. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 759-764, jul./set, 2014.

BELLOTTO, A.; CUNHA, M.C.S. Metodologia de restauração para fins de aproveitamento econômico (reserva legal e áreas agrícolas). In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Instituto BioAtlântica, São Paulo. 2009. p.162-179.

BILIA, D. A. C.; BARBEDO, C. J.; CICERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. Ingá: uma espécie importante para recomposição vegetal em florestas ripárias, com sementes interessantes para a ciência. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 13, p. 26-30, 2003.

BINI, L.M.; DINIZ-FILHO, J.A.F.; RANGEL, T.F.L.V.B.; AKRE, T.S.B.; ALBALADEJO, R.G.; ALBUQUERQUE, F.S.; APARICIO, A.; ARAÚJO, M.B.; BASELGA, A.; BECK, J.; ISABEL B, M.; BÖHNING-GAESE, K.; BORGES, P.A.V.; CASTRO-PARGA, I.; KHEN CHEY, V.; CHOWN, S.L.; DE MARCO, JR. P.; DOBKIN, D.S.; FERRER-CASTÁN, D.; FIELD, R.; FILLOY, J.; FLEISHMAN, E.; GÓMEZ, J.F.; HORTAL, J.; IVERSON, J.B.; KERR, J.T.; DANIEL KISSLING, W.; KITCHING, I.J.; LEÓN-CORTÉS, J.L.; LOBO, J.M.; MONTOYA, D.; MORALES-CASTILLA, I.; MORENO, J.C.; OBERDORFF, T.; OLALLA-TÁRRAGA, M.Á.; PAUSAS, J.G.; QIAN, H.; RAHBK, C.; RODRÍGUEZ, M.Á.; RUEDA, M.; RUGGIERO, A.; SACKMANN, P.; SANDERS, N.J.; CARINA T. L.; VETAAS, O.R.; HAWKINS, B.A.; Coefficient shifts in geographical ecology: an empirical evaluation of spatial and non-spatial regression. **Ecography** (Cop.). v. 32, p. 193–204, 2009.

BIVAND, R., HAUKE, J., KOSSOWSKI, T., Computing the Jacobian in Gaussian Spatial Autoregressive Models: An Illustrated Comparison of Available Methods. **Geogr. Anal.** 45, 150–179, 2013.

BIVAND, R., PIRAS, G. Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. **J. Stat. Softw.** 63, 1–36, 2015.

BLANCHET, G., LEGENDRE, P., BORCARD, D. Forward selection of spatial explanatory variables. **Ecology**, v. 89, p. 2623–2632, 2008.

BOTREL, R. T.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; RODRIGUES, L. A.; CURI, N. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, 195-213. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Portal da Legislação**, Brasília/DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em 02 de fev. 2016.

CAMARA, ARMANDO TADEO RODRIGUEZ. **Armazenamento de sementes pré-germinadas de *Inga vera* Willd.** 2001. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu/SP, 2011.

CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; VILELA E.A.; CURI, N.; VAN den BERG, E.; FONTES, M.A.L.; BOTEZELLI, L. Distribuição de espécies arbóreo-arbustivas ao longo de um gradiente de solos e topografia em um trecho de floresta ripária do Rio São Francisco em Três Marias, MG, Brasil. **Revista Brasil. Bot**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-345. 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**, (Vol. 1). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras** (Vol. 2). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica ; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006.

COSTA FILHO, VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. Calagem e adubação fosfatada no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em Latossolo Vermelho-amarelo, **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 89-98, jan.-mar., 2013.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil.** 488 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; SEVEGANANI, L. **A geopedologia e sua influência sobre espécies arbóreas de florestas fluviais.** Documentos n. 135, Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006.

DALE, M.; FORTIN, M.J. **Spatial analysis: a guide for ecologists.** Cambridge University Press, Cambridge. 2005.

DANIELI-SILVA, A.; UHLMANN, A.; VICENTE-SILVA, J.; STÜRMER, S. L. How mycorrhizal associations and plant density influence intra-and inter-specific

competition in two tropical tree species: *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. and *Lafoensia pacari* A. St.-Hil. **Plant and soil**, v. 330, n.1-2, p.185-193, 2010.

DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; HAWKINS, B.A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v.12, p. 53–64. 2003.

DRAY, S.; LEGENDRE, P.; PERES-NETO, P.R. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecol. Modell**, v. 196, n. 3, p. 483-493, 2006.

EISENLOHR, P. V. Persisting challenges in multiple models: a note on commonly unnoticed issues regarding collinearity and spatial structure of ecological data. **Braz. J. Bot.**, v. 37, n. 3, p. 365–371, 2014.

EISENLOHR, P. V.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Revisiting Patterns of Tree Species Composition and their Driving Forces in the Atlantic Forests of Southeastern Brazil. **Biotropica**, v.47, n. 6, p. 689-701, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997.

FAGUNDES, L. M., CARVALHO, D. A. D., VAN den BERG, E., MELO MARQUES, J. J. G. S.; MACHADO, E. L. M. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduas às margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. **Acta Bot. Bras**, 21, 65-78, 2007.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; FONSECA, F. C.; VALE, F. D. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília/DF, v. 35, n. 6, p. 1191-1198. 2000.

GARAY, I.; KINDEL, A.; LOUZADA, M.A.P.; SANTOS, R.D. Diversidade funcional dos solos na Floresta Atlântica dos Tabuleiros. In: GARAY, I.; RIZZINI, C.M.(Orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003. p. 16-26.

GARCIA, L. C. **Avaliação da sustentabilidade ecológica de matas ciliares em processo de restauração**. 186 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

GARRIDO, M. A. O.; FARIA, H. H.; DURIGAN, G.; CONTIÉRI, W.; KAWABATA, M. Recomposição de mata ciliar em microbacia hidrográfica, SP, Brasil. In: CONGRESOS FORESTALES, **Anais...** São Paulo, 1997. p.343-348.

GUSSON, A. E.; VALE, V. S.; OLIVEIRA, A. P.; LOPES, S. F.; DIAS NETO, O. C.; ARAÚJO, G. M.; SCHIAVINI, I. Interferência do aumento de umidade do solo nas populações de *Myracrodruon urundeuva* Allemão e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan em reservatórios artificiais de Usinas Hidrelétricas. **Scientia Florestalis**, v. 39, p.35-41, 2011.

HOBBS, R. J.; HALLETT, L. M.; EHRLICH, P. R.; MOONEY, H. A. Intervention ecology: applying ecological science in the twenty-first century. **BioScience**, Oxford, n. 61, v.6, p. 442-450, 2011.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa De Assistência Técnica e Extensão Rural- Proater 2011 - 2013**. Linhares/ES, 2011.

ISERNHAGEN, I.; BRANCALION, P.H.S.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Abandono da cópia de um modelo de floresta madura e foco na restauração dos processos ecológicos responsáveis pela re-construção de uma floresta. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P.H.S; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Instituto BioAtlântica, 2009. p. 35-40.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: CINTRA, L. F. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p – 19-46.

JESUS, R.M; ROLIM, S. G. Fitossociologia da Mata Atlântica de tabuleiro. **Boletim Técnico da Sociedade de Investigações Florestais**, v. 19, p. 1-154, 2005.

KEENLEYSIDE, K. A.; DUDLEY, N.; CAIRNS, S.; HALL, C. M.; STOLTON, S. **Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices**, Gland, Switzerland: IUCN, 2012.

KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B AND RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol Z.**, v. 15, n.3, p. 259-263, 2006.

LANG, A.; MALAVASI, U. C.; DECKER, V.; PÉREZ, P. V.; ALEIXO, M. A.; MATOS, M. M. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 271-276, 2011.

LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LOPES, S. de F.; SCHIAVINI, I.; OLIVEIRA, A. P.; VALE, V. S. An ecological comparison of floristic composition in seasonal semideciduous forest in Southeast Brazil: implications for conservation. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2 ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.

OKSANEN, J., BLANCHET, F., KINDT, R., LEGENDRE, P., MINCHIN, P., O'HARA, R., SIMPSON, G., SOLYMOS, P., HENRY, M., STEVENS, H., WAGNER, H. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version, v.2, n. 2, p.1, 2015.

PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Comput. Geosci.**, v. 30, p. 683–691, 2004.

PEREIRA, B. A. S. **Relações vegetação-variáveis ambientais em Florestas Estacionais Decíduas em afloramentos calcários no bioma Cerrado e em zonas de transição com a Caatinga e com Amazônia**. 79 f. Tese (Doutorado em Ecologia)- Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2008.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P. Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v. 19, p. 174–184, 2010.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P., DRAY, S., BORCARD, D. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparisons of fractions. **Ecology.**, v. 87, p. 2614–262, 2006.

POZZOBON, M. CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; GALVÃO, F.; ZIMMER, E. Restauração de planícies do rio Itajaí-Açú, SC: sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas por tipo de solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 63, p. 171-189, 2010.

PRADO, D.E.; GIBBS, P.E. Patterns of species distribution in the dry seasonal forests of South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 80, p. 902-927.

QUINN, G.P.; KEOUGH, M.J. **Experimental Design and Data Analysis for Biologists**. Press, Cambridge University, Cambridge, 2002.

R TEAM, development core. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2012.

REZENDE, V.L.; DE MIRANDA, P.L.S.; MEYER, L.; MOREIRA, C. V.; LINHARES, M.F.M.; DE OLIVEIRA-FILHO, A.T.; EISENLOHR, P. V. Tree species composition and richness along altitudinal gradients as a tool for conservation decisions: the case of Atlantic semideciduous forest. **Biodivers. Conserv.**, v. 24, p. 2149–2163, 2015.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p. 89-166.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências, e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. p. 235-248.

RODRIGUES, R.R.; SHEPHERD, G.J. Fatores Condicionantes da Vegetação Ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e**

recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. p. 101-108.

ROLIM, S. G.; IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NASCIMENTO, M. T.; GOMES, J. M. L.; FOLLI, D. A.; COUTO, H. D. Composição florística do estrato arbóreo da floresta estacional semidecidual na planície aluvial do rio Doce, Linhares, ES, Brasil. **Acta Bot. Bras**, v. 20, n. 3, p. 549-561, 2006.

SAITER, F.Z., EISENLOHR, P.V., FRANÇA, G.S., STEHMANN, J.R., SANCHEZ, M.; PEREIRA, L.S., VIEIRA, S. A.; GOMES, J.A.M. A.; TAMASHIRO, J.Y.; SCARANELLO, M. A. S.; CARON, C.J.; JOLY, C.A. Disturbances, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. **Biodivers. Conserv.**, v. 22, p. 2767–2783. 2013.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013.

SANTOS, P. L.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; AMARAL, L. A.; OLIVEIRA, A. S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. **Árvore**, v.36, n.2, p. 237-245, 2012.

SANTOS, W. L. **Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em plantio de enriquecimento de mata ciliar em restauração**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu/SP, 127p., 2014.

SEABROOK, L.; MCALPINE, C. A.; BOWEN, M. E. Restore, repair or reinvent: options for sustainable landscapes in a changing climate. **Landscape and Urban Planning**, v.100, n. 4, p. 407-410, 2011.

SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; LEAL, L.; SILVA, A. S. Ocorrência de fungos micorrízicos em espécies florestais na região central do estado do Rio Grande do Sul. **Current Agricultural Science and Technology**, Pelotas/RS, v.15, p.1-4. 2009.

SILVA, G. D.; NASCIMENTO, M. T. Fitossociologia de um remanescente de mata sobre tabuleiros no norte do estado do Rio de Janeiro (Mata do Carvão). **Rev. Bras. de Botânica**, v. 24, n.1, p. 51-62, 2001.

SILVEIRA, S. B.; NEVES, E. J. M.; CARPANEZZI, A. A.; BRITTEZ, R. M. Avaliação silvicultural de *Rapanea ferruginea* e *Citharexylum myrianthum* plantadas em pastagens abandonadas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 73, p. 99-102, 2013.

SORREANO, M.C.M.; RODRIGUES, R.R.; BOARETTO, A.E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

UHLMANN, A. **Análise estrutural de duas áreas de vegetação savânica (Cerrado) sob influência de gradientes ambientais complexos**. 103 f. Tese

(Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

VAN den BERG, E.; SANTOS, F.A.M. Aspectos da variação ambiental em uma floresta de galeria em Itutinga, MG, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 329-345. 2003.

WEIDLICH, E. W. A. **Desenvolvimento espécies arbóreas nativas e competição com *Brachiaria humidicola* em área de restauração de floresta fluvial**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZANGARO, W.; ANDRADE, G. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A (Eds.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina/PR, 2002. p. 173-212.

### 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As altas mortalidades das espécies e desenvolvimentos aquém ao esperado nos dois experimentos ressaltam a importância de planejamento para escolha e alocação das espécies de acordo com suas afinidades hídricas e pedológicas, ação que certamente contribuirá na eficiência ambiental e econômica das iniciativas de recuperação de áreas degradadas.
- O Espodossolo com presença de Bh é ambiente altamente restritor ao desenvolvimento e sobrevivência de mudas das arbóreas testadas.
- O desenvolvimento de *I. vera* nos terços inferiores de ambos os solos mostra relação positiva com a umidade, o que a destaca como espécie importante para incorporar projetos de recuperação em nascentes intermitentes sob condições de hidromorfia/semi-hidromorfia.
- Nos dois solos *A. ormosioides* apresentou bom desenvolvimento, além de adaptação às condições ambientais em toda pedossequência do Argissolo e no terço médio do Espodossolo. As médias de sobrevivência bastante distintas entre os blocos plantados sobre o Argissolo Amarelo da nascente (capítulo 1) e Argissolo Amarelo da APP do rio (capítulo 2), podem advir do uso de hidrogel no plantio da área da nascente.
- A qualidade das mudas, mesmo que de mesma espécie, também pode ter afetado na sobrevivência e desenvolvimento. No viveiro, lotes distintos, que, apesar de apresentarem mudas com altura bem similares, podem ter diferido no grau de compactação no saquinho, composição do substrato, bem como tempo de viveiro.
- Além da umidade, a matocompetição, variável não avaliada diretamente nesses experimentos, possivelmente influenciou a sobrevivência e desenvolvimento das espécies. A constatação do quão afetadas foram as mudas pelos citados fatores, dependerão, portanto, de mais pesquisas para obtenção de resultados científicos diretos.

- A adubação não afetou de maneira significativa a maioria das espécies, sendo que as que melhor se desenvolveram em cada porção da pedossequência de Argissolo podem ser indicadas para composição de plantios iniciais em ambientes degradados da Formação Barreiras da seguinte forma:

.Terço inferior: *I. vera*; *I. laurina* e *A. ormosioides*

.Terço médio: *B. virgilioides*, *I. laurina*, *P. heptaphyllum* (adubada), *A. ormosioides*

.Terço superior: *A. graveolens*, *H. heptaphyllum* (adubada), *P. dubium* (adubada), *S. terebinthifolius* e *A. ormosioides*.

- A composição de espécies com diferentes arquiteturas e bons desenvolvimentos nas áreas, pode ser uma alternativa para melhor cobertura do solo e diminuição dos gastos com manutenção. As espécies que mais se destacaram nos plantios como um todo foram *I. vera* e *I. laurina* (com arquitetura mais horizontal) e *A. ormosioides* (com arquitetura vertical), ambas com bons desenvolvimentos, mesmo não adubadas e sem hidrogel.

- Devido ao veranico de 25 dias após o plantio, o uso de hidrogel na área da nascente parece ter sido o principal responsável pela sobrevivência, em média de 30% superior, das mudas das espécies *A. ormosioides*, *I. vera* e *T. guianensis* em relação às plantadas na APP de rio, ambas sobre Argissolo Amarelo. Contudo, o uso do hidrogel para plantios de recuperação pode onerar muito a iniciativa, tanto na aquisição do produto quanto na manutenção do mesmo hidratado.



## 4.2 - Anexo 2) Análises dos solos do Capítulo 1

**Classificação:** Espodossolo Humilúvico Hidromórfico Dúrico A moderado  
**Município:** Linhares - ES  
**Litotipia e Formação Geológica:** sedimentos inconsolidados do Holoceno.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	pH	C	Valores				
							S	CTC	V	m	
Simb.	Prof. (cm)	g kg <sup>-1</sup>			CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%			
Ap	0-18	13	50	797	140	3,30	22,2	0,64	3,84	17	38
AB	18-45	38	50	783	129	3,70	8,7	0,41	2,01	20	0
E2	45-83	37	25	723	215	4,00	6,9	0,41	1,81	23	20
Bh	83-100	38	37	798	127	3,20	18,2	0,61	6,41	10	66
Bhm	100-115	125	62	723	90	3,30	53,2	1,03	35,93	3	85

Tabela 11 - Análise granulométrica e química de Espodossolo Humilúvico Hidromórfico dúrico. Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável.

Tabela 12 - Análise físico-hídrica Espodossolo Humilúvico Hidromórfico dúrico

Horizonte	Prof.	Densidade do solo	Condutividade hidráulica	Porosidade			Capacidade de campo	Água disponível
				total	macro	aeração		
Simb.	(cm)	Mg m <sup>-3</sup>	cm h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>				
Ap	0-18	1,12	100,33	0,48	0,23	0,28	0,21	0,02
E <sub>2</sub>	45-83	1,48	40,49	0,30	0,22	0,22	0,08	0,02
Bhm	100-115	1,44	19,86	0,42	0,17	0,09	0,33	0,17

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade.

**Classificação:** Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado fase soterrada  
textura arenosa/média

Município: Linhares - ES

Litotipia e Formação Geológica: rochas sedimentares da Formação Barreiras

Material Originário: retrabalhamento de material supracitado.

Tabela 13 - Análise granulométrica e química de Argissolo Amarelo Distrocoeso típico.

Horizonte	Prof.	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	pH	C	Valores			
								S	CTC	V	m
Simb.	(cm)	g kg <sup>-1</sup>				CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	
Ap	0-26	13	63	811	114	4,30	7,8	1,62	4,32	38	16
Apb	26-43	138	113	597	153	3,90	8,7	0,87	4,87	18	51
BtA	43-61	300	75	510	115	3,90	4,2	0,71	5,31	13	65
Bt <sub>1</sub>	61-96	300	50	497	153	3,90	4,2	0,51	4,81	11	68
Bt <sub>2</sub>	96-122	313	12	565	110	3,80	2,4	0,51	3,91	13	66

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável.

Tabela 14 - Análise físico-hídrica de Argissolo Amarelo Distrocoeso típico

Horizonte	Prof.	Densidade do solo	Condutividade hidráulica	Porosidade			Capacidade de campo	Água disponível
				total	macro	aeração		
Simb.	(cm)	Mg m <sup>-3</sup>	cm h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>				
Ap	0-26	1,27	116,63	0,53	0,33	0,34	0,19	0,04
Apb	26-43	1,29	87,6	0,50	0,31	0,30	0,20	0,04
BtA	43-61	1,47	43,8	0,43	0,24	0,23	0,18	0,04
Bt <sub>1</sub>	61-96	1,48	42,78	0,41	0,21	0,21	0,19	0,05
Bt <sub>2</sub>	96-122	1,49	23,68	0,45	0,18	0,19	0,26	0,07

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade.

## 4.3 - Anexo 3) Fotos da área experimental do Capítulo 1



Foto 6 - Distribuição de *I. vera* ao longo das duas pedossequências. Em segundo plano, concentração das mudas com melhor desenvolvimento nos terços inferiores das rampas.



Foto 7 - *A. ormosioides* ao longo das duas pedossequências. Em primeiro plano, distribuição uniforme das mudas sob Argissolo, em segundo plano, alta mortalidade e menor desenvolvimento das mesmas sobre Espodossolo.

## 4.4 - Anexo 4) Tabelas ANOVA das espécies analisadas no Capítulo 1

<i>Andira ormosioides</i>						$\mu_{\text{esp}}=664.81$ $\mu_{\text{arg}}=1151.63$
Teste de Levene		(p=0.1253)				
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	3317948	3317948	13,138	0,000591	
Residuals	61	15405488	252549			
Total	62	18723436				
<i>Bowdichia virgilioides</i>						$\mu_{\text{esp}}=-15.96$ $\mu_{\text{arg}}=93.37$
Teste de Levene		(p=0.9582)				
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	67235,9	67235,9	15,448	0,000715	
Residuals	22	95754,7	4352,486			
Total	23	162990,6				
<i>Copaifera lucens</i>						$\mu_{\text{esp}}=-22.51$ $\mu_{\text{arg}}=-21.91$
Teste de Levene (p=0.33); após exclusão de outliers p=0.48						
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	1,43	1,43	0,005	0,9434	
Residuals	17	3744,9	220,2882			
Total	18	3746,33				
<i>Inga vera</i>						$\mu_{\text{esp}}=607.32$ $\mu_{\text{arg}}=820.16$
Teste de Levene		(p=0.7792)				
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	724853	724853	2,881	0,0941	
Residuals	70	17613091	251615,6			
Total	71	18337944				
<i>Peltophorum dubium</i>						$\mu_{\text{esp}}=121.87$ $\mu_{\text{arg}}=565.99$
Teste de Levene (p=0.0144); após log transformado e eliminação de outlier (p=0.8085)						
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	3,743	3,743	17,250	0,000115	
Residuals	55	11,931	0,216927			
Total	56	15,674				
<i>Tapirira guianensis</i>						$\mu_{\text{esp}}=174.41$ $\mu_{\text{arg}}=789.33$
Teste de Levene (p=0.20); após ln transformação e eliminação de outliers p=0.8572						
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	6,8134	6,8134	9,086	0,0051	
Residuals	31	23,2462	0,749877			
Total	32	30,0596				
<i>Schinus terebinthifolius</i>						$\mu_{\text{esp}}=417.05$ $\mu_{\text{arg}}=701.70$
Teste de Levene (p=0.1269); após ln transformação e retirada dos outliers p=0.720						
	GL	SQ	QM	F	p	
Treatment	1	2,996	2,996	4,626	0,0358	
Residuals	56	36,261	0,647518			
Total	57	39,257				



## 4.6 - Anexo 6) Análises dos solo do Capítulo 2

Classificação: Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado textura média/argilosa

Município: Linhares - ES

Litotipia e Formação Geológica: rochas sedimentares da Formação Barreiras.

Tabela 15 - Análise granulométrica e química - Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	pH	C	Valores				
							S	CTC	V	m	
Simb.	Prof. (cm)	g kg <sup>-1</sup>			CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%		
Ap	0-16	150	75	654	121	4,00	15,3	1,13	5,43	21	31
BA	16-35	263	137	468	132	3,90	9,6	0,71	5,01	14	58
Bt <sub>1</sub>	35-68	338	100	421	141	3,90	7,8	0,71	4,11	17	50
Bt <sub>2</sub>	68-112	400	50	407	143	4,30	8,7	1,11	3,51	32	21
Bt <sub>3</sub>	112-120	400	13	459	128	4,40	4,2	1,91	4,31	44	14

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável.

Tabela 16: Análise físico-hídrica de Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado

Horizonte	Prof.	Densidade do solo	Condutividade hidráulica	Porosidade			Capacidade de campo	Água disponível
				total	macro	aeração		
Simb.	(cm)	Mg m <sup>-3</sup>	cm h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>				
Ap	0-16	1,54	23,94	0,42	0,19	0,21	0,22	0,03
BA	16-35	1,51	6,67	0,42	0,16	0,17	0,25	0,03
Bt <sub>1</sub>	16-35	15,53	2,29	0,42	0,13	0,15	0,27	0,04

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade.

**Classificação:** Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico A moderado textura arenosa/média

Município: Linhares - ES

Litotipia e Formação Geológica: sedimentos arenosos do Holoceno.

Tabela 17 - Análise granulométrica e química - Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico.

Horizonte	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	pH	C	Valores				
							S	CTC	V	m	
Simb.	Prof. (cm)	g kg <sup>-1</sup>			CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%		
Ap	0-13	25	63	856	56	4,40	10,5	0,93	3,43	27	24
ACg	13-31	100	75	717	108	4,20	5,1	0,82	4,22	19	38
Cg <sub>1</sub>	31-57	200	50	591	159	4,20	9,6	0,81	3,31	24	50
Cg <sub>2</sub>	57-110	263	37	550	150	4,20	5,1	0,71	3,41	21	50

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade; C= carbono; S= soma de bases extraíveis; CTC= capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases; m= saturação por alumínio trocável.

Tabela 18: Análise físico-hídrica de Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico,

Horizonte	Densidade do solo	Condutividade hidráulica	Porosidade			Capacidade de campo	Água disponível	
			total	macro	aeração			
Simb.	Prof. (cm)	Mg m <sup>-3</sup>	cm h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>				
Ap	0-13	1,43	71,81	0,43	0,25	0,27	0,16	0,03
Acg	13-31	1,50	45,07	0,43	0,22	0,24	0,19	0,03

Simb.= símbolo; Prof.= profundidade.

## 4.7 - Anexo 7) Fotos da área experimental do Capítulo 2



Foto 8- Visão geral da área experimental 30 meses pós plantio.

Foto 9 - Efeito da adubação nas mudas de *H. heptaphyllus* (canto esquerdo da imagem ) em relação às não adubadas (canto direito).



Foto 10 - Efeito da adubação nas mudas de *P. dubium* (canto esquerdo) em relação às não adubadas (canto direito).



Foto 11 - Efeito da adubação nas mudas de *M. urundeuva* (canto esquerdo da imagem ) em relação às não adubadas (canto direito).



Foto 12- Distribuição de *I. vera* ao longo da pedossequência, destaque para concentração de melhor desenvolvimento das mudas no terço inferior.



Foto 13- Distribuição uniforme de *A. ormosioides* ao longo da pedossequência.

## 4.8 - Anexo 8) Tabelas ANOVA das espécies do Capítulo 2

<i>Andira ormosioides</i>						
						$\mu_{com}=1215,42$ $\mu_{sem}=1138,85$
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	71798	71798	0,15	0,697	
Resíduo	47	220139777	468382			
Total	48	22085776				P(testet)= 0,429272
<i>Apuleia leiocarpa</i>						
						$\mu_{com}=395,75$ $\mu_{sem}=187,82$
Teste de Levene		(p=0.074)				
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	340457	340457	2,077	0,16	
Resíduo	30	4918150	163938,3			
Total	31	5258607				
<i>Astronium graveolens</i>						
						$\mu_{com}=807,39$ $\mu_{sem}=767,30$
Teste de Levene		(p=0.076), após transformação inversa				p=0.35
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	22390	22390	0,056	0,8146	
Resíduo	54	21768264	403116			
Total	55	21790654				
<i>Bowdichia virgilioides</i>						
						$\mu_{com}=2028,35$ $\mu_{sem}=1827,65$
Teste de Levene, p		=0.256				
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	283342	283342	0,4032	0,530799	
Resíduo	27	18974937	702775			
Total	28,000	19258278,687				
<i>Citharexylum myrianthum</i>						
						$\mu_{com}=403,89$ $\mu_{sem}=91,58$
Teste de Levene, após log transformação e exclusão de outliers						=0.895
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	14,159	14,159	27,527	0,000005	
Resíduo	41	21,090	0,514			
Total	42	35,250				
<i>Inga laurina</i>						
						$\mu_{com}=1225$ $\mu_{sem}=822$
Teste de Levene (p=0.000056); após transformação inversa						p=0.3249
	DF	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	0,000001	1E-06	1,610	0,2104	
Resíduo	43	0,000016	3,7E-07			
Total	44	0,000017				

---

*Inga vera*

---

						$\mu_{com}=1677,87$
						$\mu_{sem}=1376,91$
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	903483,4	903483,4	1,340005	0,25	
Resíduo	38	25621083	674239			
Total	39					

---

*Handroanthus heptaphyllus*

---

						$\mu_{com}=729.63$
						$\mu_{sem}=217.07$
Teste de Levene (p=0.0613)						
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	2495910	2495910	12,519	0,0011	
Resíduo	36	7177630	199379			
Total	37	9673540				

---

*Myracruodruon urundeuva*

---

						$\mu_{com}=357.33$
						$\mu_{sem}=189.39$
Teste de Levene (p=0.1795)						
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	435129	435129	8,070	0,0061	
Resíduo	61	3289103	53919,7			
Total	62	3724232				

---

*Protium heptaphyllum*

---

						$\mu_{com}=817.41$
						$\mu_{sem}=153.91$
Teste de Levene (p=0.000030), após transformação inversa p=0.35						
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	0,000408	0,00041	9,247	0,0035	
Resíduo	60	0,002648	4,4E-05			
Total	61	0,003056				

---

*Peltophorum dubium*

---

						$\mu_{com}=700.84$
						$\mu_{sem}=242.56$
Teste de Levene (p=0.0993)						
	GL	SQ	QM	F	p	
Tratamento	1	2863885	2863885	20,738	0,000031	
Resíduo	53	7319298	138100			
Total	54	10183183				

---