

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU - FURB
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FELIPE LUIZ BRAGHIROLI

**CARBOIDRATOS SOLÚVEIS E ESTABELECIMENTO A CAMPO DE ESPÉCIES
FLORESTAIS INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
PARA A RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES FLUVIAIS.**

BLUMENAU

2011

FELIPE LUIZ BRAGHIROLI

**CARBOIDRATOS SOLÚVEIS E ESTABELECIMENTO A CAMPO DE ESPÉCIES
FLORESTAIS INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
PARA A RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES FLUVIAIS.**

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do grau de Mestre no Programa de
Pós-graduação em Engenharia Ambiental.
Centro de Ciências Tecnológicas da
Universidade Regional de Blumenau – FURB.

Orientador: Dr. Sidney Luiz Stürmer

Co-orientadora: Dra. Rosete Pescador

BLUMENAU

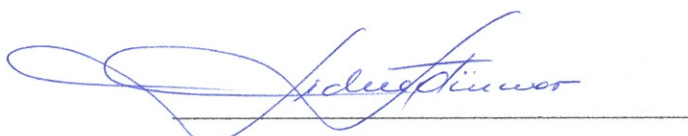
2011

**CARBOIDRATOS SOLÚVEIS E
ESTABELECIMENTO A CAMPO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS INOCULADAS
COM FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES PARA A
RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES
FLUVIAIS**

por

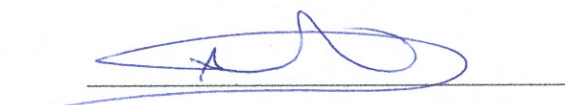
FELIPE LUIZ BRAGHIROLI

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Regional de Blumenau – FURB.



Prof. Dr. Sidney Luiz Stürmer

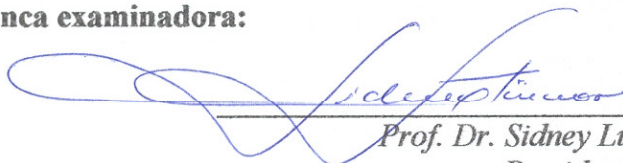
Orientador



Prof. Dr. Adilson Pinheiro

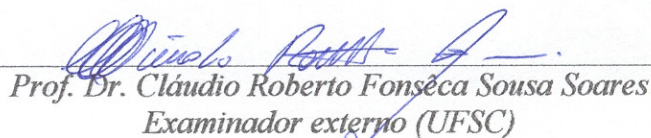
Coordenador

Banca examinadora:

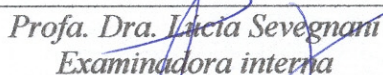


Prof. Dr. Sidney Luiz Stürmer

Presidente



Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonseca Sousa Soares
Examinador externo (UFSC)



Profa. Dra. Lúcia Sevegnani
Examinadora interna

Blumenau, 28 de fevereiro de 2011

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Pesquisa;

Ao meu orientador e amigo, Sidney Luiz Stürmer pelo apoio irrestrito, compreensão e auxílio ao longo de toda a elaboração e aplicação dos experimentos;

A Rosete Pescador pelo auxílio e co-orientação;

A Bunge Natureza em nome de Eduardo, Alex, Edson e Manuela pelo apoio logístico e técnico a campo;

Aos laboratórios de Botânica, Biotecnologia e Bioquímica por ceder o espaço para a realização das atividades;

Ao laboratório de Micorrizas em nome de Francisco (Chico), Joseane, Andressa e Taciane por todo o auxílio nas atividades;

Aos professores e secretaria do PPGEA pelo suporte ao longo de todo o mestrado;

Aos meus sogros pela ajuda, carinho e abrigo disponibilizado no período;

A toda a minha família pelo apoio e compreensão ao longo de todo o período, em especial aos meus pais, Ivete e Olmar e meu irmão Guilherme;

Em especial a minha namorada, Luanda, pois sem ela nada disso poderia ter sido possível;

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a execução desta dissertação.

RESUMO

As plantas têm a capacidade de constituir uma simbiose mutualística com os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), a qual resultam geralmente em um maior estabelecimento, desenvolvimento e auxiliam no processo de nutrição das plantas. Estes fungos podem ser fundamentais no processo de desenvolvimento inicial das mudas, podendo tornar as plantas mais tolerantes no plantio a campo. Em projetos de recuperação de áreas degradadas este fator é de extrema importância, pois pode diminuir custos na manutenção das áreas. Nesta dissertação foi avaliado, a campo e em condições de casa de vegetação, a interação da simbiose micorrízica com espécies arbóreas utilizadas na recuperação de ambientes fluviais. Em dois estudos em casa de vegetação foi verificado os efeitos de quatro isolados de FMAs no acúmulo de biomassa de *Schinus terebinthifolius*, *Allophylus edulis* e *Alchornea glandulosa* em duas classes de solo, e o efeito da inoculação sobre a alocação de carboidratos e amido em *Schinus terebinthifolius* e *Luehea divaricata*. A campo foi averiguado a sobrevivência e crescimento pelo prazo de 12 meses de *Inga edulis* e *Cytherexillum myrianthum* inoculadas com FMAs e transplantadas em dois tipos de solos, gleissolo e depósito psamo-pelítico. No primeiro estudo, três dos quatro isolados testados tiveram efeito sobre o acúmulo de biomassa nas espécies arbóreas, o qual foi modulado pelo tipo de solo. A responsividade das espécies foram maiores quando associadas com *Entrophospora colombiana* e *Scutellospora heterogama*. No segundo estudo a associação micorrízica não teve efeito na concentração de carboidratos solúveis e amido em nenhuma espécie avaliada embora os níveis de colonização micorrízica foram acima de 85%. No estudo a campo, a sobrevivência no primeiro mês foi maior em plantas inoculadas com FMAs que as plantas controle, sem inoculação. O desenvolvimento das espécies não foi influenciado pela inoculação micorrízica no primeiro ano de avaliação e o período com maior incremento foi de Setembro a Janeiro. *C. myrianthum* teve os maiores acúmulos de biomassa total, em todos os períodos, nas duas áreas em relação ao *I. edulis*. Os resultados indicam que a associação micorrízica não alterou os níveis de carboidratos solúveis e amido direcionados para a raiz nas condições estudadas, porém a interação fungo-solo-plantas deve ser levada em consideração quando se objetiva maximizar o crescimento em altura e diâmetro de espécies arbóreas. O estudo da simbiose FMA e espécies arbóreas é importante para aumentar o crescimento vegetal de espécies arbóreas utilizadas na revegetação de ambientes fluviais visando sua recuperação e aporte de carbono na biomassa. **Palavras-Chaves: Recuperação; Açúcares solúveis; Acúmulo de Biomassa, Micorrizas, Florestas Ripárias.**

ABSTRACT

Plants establish a mutualistic symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) which result in high establishment, development and nutrition. These fungi are pivotal during the process of early development of seedlings turning them more tolerant to abiotic adversities at the transplanting. In programs to recuperate degraded areas this factor is important as it diminished the cost of implementation and maintenance of these areas. In this work was evaluated, under field and greenhouse conditions, the interaction of mycorrhizal symbiosis with woody species used on the recovery of riparian sites. In two studies under greenhouse conditions the effect of four isolates of AMF upon biomass production of *S. terebinthifolius*, *A. edulis* and *A. glandulosa* in two soil classes was evaluated as well the effect of the mycorrhizal inoculation upon carbohydrates allocation and starch levels in *S. terebinthifolius* and *L. divaricata*. Under field conditions, survival and development during 12 months of inoculated *I. edulis* and *C. myrianthum* and transplanted in two pedological conditions was followed. In the first study, three out of four isolates increased biomass accumulation in all woody species which was modulated by soil type. Plant responsiveness was greater when associated with *Entrophospora colombiana* and *Scutellospora heterogama*. In the second study, the mycorrhizal association has no effect on the concentration of soluble carbohydrates and starch in both plants studied, although mycorrhizal colonization was higher than 85%. At field conditions, plant survival in the first month was higher for inoculated plants relative to non-inoculated plants. Species development was not affected by mycorrhizal treatment in the first year and the September to January was the period that plants showed larger increment. *Citharexylum myrianthum* had larger total biomass in all periods evaluated under both soil conditions compared to *Inga edulis*. Results indicate that the mycorrhizal association had no effect on the levels of soluble carbohydrates and starch allocated to roots, however the interaction soil-plant-fungus must be considered when the aim is to maximize height and diameter increment in woody species. The study of the AMF symbiosis and woody species is important to increase plant growth of woody species used on revegetation of riparian areas aiming recuperation of these areas and carbon accumulation in plant biomass.

Key-words: Recuperation; Soluble carbohydrates, Biomass, Mycorrhiza, Riparian Forests

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Padrões de canais de rios existente no rio Itajai-açu. Adaptado de Binder (1998).....	21
Figura 2	Biomassa aérea e raiz (g) de <i>A. glandulosa</i> (A), <i>Schinus terebinthifolius</i> (B) e <i>Allophylus edulis</i> (C) em Gleissolo (Gx) e Cambissolo (Cx) nos tratamentos fúngicos C (Controle), GA (<i>Gigaspora albida</i>), SH (<i>Scutellospora heterogama</i>), AK (<i>Acaulospora koskei</i>) e EC (<i>Entrophospora colombiana</i>). (*) Valores de biomassa diferem estatisticamente do controle pelo teste de Dunnett (P<0,05) com comparações feitas dentro do mesmo tipo de solo.....	36
Figura 3	Responsividade máxima da planta (RMP %) com as espécies de fungos <i>S. heterogama</i> (SH), <i>E. colombiana</i> (EC), <i>G. albida</i> (GA) nas duas classes de solos, Cambissolo (Cx) e Gleissolo (Gx).....	37
Figura 4	Porcentagem de colonização micorrízica aos 180 e 270 dias, para as espécies <i>S. terebinthifolius</i> e <i>L. divaricata</i> no tratamento micorrizado [M]. * Diferença significativa dentro da mesma espécie.....	48
Figura 5	Localizações geográficas das áreas de plantio nos municípios de Gaspar e Navegantes e os respectivos tipos de solos em cada área.....	56
Figura 6	Croqui do delineamento experimental do plantio onde as espécies <i>I. edulis</i> - 1 e <i>C. myrianthum</i> - 2 estão aleatoriamente distribuídas nas áreas.....	59
Figura 7	Porcentagem de sobrevivência das espécies em suas respectivas áreas e tratamentos.....	60
Figura 8	Gráficos de crescimento de <i>Inga edulis</i> e <i>Citharexylum myrianthum</i> em Depósito psamo-pelítico ao longo de 10 meses de avaliações. A – Diâmetro (cm) de <i>C. myrianthum</i> ; B – Altura (cm) de <i>C. myrianthum</i> ; C – Diâmetro (cm) de <i>I. edulis</i> ; D – Altura (cm) de <i>I. edulis</i> . [C] Controle; [M] Micorrizado. Letras diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos C e M no mesmo período.....	61
Figura 9	Incremento mensal em Depósito Psamo-Pelítico de diâmetro (A) e altura (B) de <i>I. edulis</i> e <i>C. myrianthum</i> nos tratamentos C (controle) e M (micorriza).....	62

Figura 10	Gráficos de crescimento de <i>Inga edulis</i> e <i>Citharexylum myrianthum</i> em Gleissolo ao longo de 10 meses de avaliações. A – Diâmetro (cm) de <i>C. myrianthum</i> ; B – Altura (cm) de <i>C. myrianthum</i> ; C – Diâmetro (cm) de <i>I. edulis</i> ; D – Altura (cm) de <i>I. edulis</i> . [C] Controle; [M] Micorrizado. Letras diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos C e M no mesmo período.....	63
Figura 11	Incremento mensal em Gleissolo de diâmetro (A) e altura (B) de <i>I. edulis</i> e <i>C. myrianthum</i> nos tratamentos C (controle) e M (micorriza).	64
Figura 12	Valores médios de diâmetro (A) e altura (B) comparados entre Gleissolo (Gx) e Depósito psamo-pelítico (DP) nos tratamentos micorrizados (M) e Controle (C). Onde, * representam diferenças estatísticas dentro de uma mesma espécie no mesmo tratamento fúngico.....	65
Figura 13	Acúmulo de biomassa aérea total (kg) em Gleissolo e Depósito Psamo Pelítico ao longo do período de avaliação. * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C no mesmo período. [C] controle; [M] micorrizado. (A) <i>I. edulis</i> em Gx; (B) <i>I. edulis</i> em Dp; (C) <i>C. myriathum</i> em Gx; (D) <i>C. myrianthum</i> em Dp.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise química e granulométrica de Gleissolo Melânico (Gx) e Cambissolo Háptico (Cx).....	33
Tabela 2	Efeitos da inoculação com FMAs e solos, sobre a biomassa seca da parte aérea e de raiz nas espécies arbóreas. N.S. – Não significativo.....	35
Tabela 3	Valores de biomassa acumulada por tipos de solos, excluindo os tratamentos fúngicos. Cx – Cambissolo; Gx – Gleissolo. * significa diferenças estatísticas dentro de uma mesma espécie entre solos.....	37
Tabela 4	Valores médios de açúcares solúveis e amido expressos em mg/g de massa fresca expressos em mg/g de massa fresca (mg/g de MF) presentes nas plantas de <i>S. terebinthifolius</i> e <i>L. divaricata</i> . * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C. Os tratamentos fúngico são representados com [C], Controle e [M] Micorrizados.....	47
Tabela 5	Média de diâmetro (cm), comprimento da parte aérea (cm), raiz (cm), comprimento total (cm) e peso seco (g), onde * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C, comparadas somente entre os mesmo períodos.....	48
Tabela 6	Atributos físicos, químicos e granulométricos dos solos utilizados no experimento.....	58

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Objetivos	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. Referencial Teórico	17
3.1. Emissões de CO ₂ e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo	17
3.2. Fotossíntese e fixação de carbono na biomassa vegetal.....	18
3.3. Recuperação de Ambientes Fluviais	19
3.4. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	23
3.5. Açúcares solúveis	26
3.6. Amido	27
4. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na biomassa seca e porcentagem de colonização de <i>Schinus terebinthifolius</i> , <i>Allophylus edulis</i> e <i>Alchornea glandulosa</i> em duas classes de solos fluviais da bacia do Itajaí.....	29
4.1. RESUMO	29
4.2. Introdução.....	30
4.3. Material e Métodos.....	32
4.3.1. Espécies vegetais	32
4.3.2. Fungos Micorrízicos	32
4.3.3. Solos	33
4.3.4. Análise de dados.....	33
4.3.5. Porcentagem de colonização micorrízica	34
4.4. Resultados.....	35
4.4.1. Biomassa Seca	35
4.4.2. Responsividade Máxima da Planta (RMP).....	37
4.4.3. Colonização Micorrízica.....	37
4.5. Discussão.....	38

4.6.	Conclusões.....	41
5.	Fungos micorrízicos arbusculares na alocação de carboidratos solúveis e amido em plântulas de <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi e <i>Luehea divaricata</i> Mart.....	42
5.1.	RESUMO	42
5.2.	INTRODUÇÃO.....	43
5.3.	Material e métodos	44
5.3.1.	Espécies vegetais	44
5.3.2.	Condições experimentais.....	45
5.3.3.	Análise da biomassa	45
5.3.4.	Colonização micorrízica.....	45
5.3.5.	Açúcares solúveis e amido	46
5.3.6.	Análises de dados e estatística.....	46
5.4.	Resultados.....	47
5.4.1.	Açúcares Solúveis e Amido.....	47
5.4.2.	Diâmetro, comprimento, biomassa seca e porcentagem de colonização.....	47
5.5.	Discussão	48
5.6.	Conclusões.....	52
6.	Estabelecimento a campo e efeitos da inoculação micorrízica em <i>Inga edulis</i> Mart. e <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham. em duas formações pedológicas, Gleissolo e Depósito Psamo - Pelítico.....	53
6.1.	RESUMO	53
6.2.	Introdução.....	54
6.3.	Material e métodos	56
6.3.1.	Espécies de plantas	57
6.3.2.	Solos	57
6.3.3.	Delineamento experimental.....	58
6.3.4.	Acompanhamento	59
6.3.5.	Estimativa de carbono na biomassa aérea	59

6.3.6.	Análises estatísticas e análise de dados	60
6.4.	Resultados.....	60
6.4.1.	Sobrevivência	60
6.4.2.	Depósito Psamo-Pelítico	60
6.4.3.	Gleissolo	62
6.4.4.	Estimativa de biomassa aérea e carbono	65
6.5.	Discussão	66
7.	Conclusões	71
	Referências bibliográficas	72
	APÊNDICE 1	84
	APÊNDICE 2	85
	APÊNDICE 3	86
	APÊNDICE 4	87

1. Introdução

A queima de combustíveis fósseis e as queimadas decorrentes dos desmatamentos, ocorridos com maior intensidade nos últimos 150 anos devido à Revolução Industrial e ao crescimento populacional, têm sido a maior causa de emissão de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera (Goldember, 1998). As ações decorrentes das atividades econômicas e industriais vêm sistematicamente provocando alterações na biosfera, o que resultou na quase duplicação da concentração dos gases formadores do efeito estufa na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (CO_2) (Balbinot et al., 2003). Alguns gases são os principais potencializadores do efeito estufa, dentre eles estão: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O) e Hidrofluorcarbonos (HFC). No Brasil, as emissões antrópicas de gases do efeito estufa (GEE), cresceram nos últimos 40 anos, oriundos da utilização de diversos tipos de combustíveis (Rocha, 2003; Britez et al., 2006).

Como consequência deste aumento das emissões dos GEE, a temperatura da atmosfera terrestre tem aumentado nos últimos anos (Britez et al., 2006). Com esta elevação nas temperaturas, são esperadas consequências como derretimento das calotas polares e aumento no nível dos oceanos (Nishi et al., 2005). Estas alterações ocorridas na superfície terrestre têm impacto significativo sobre os ciclos biogeoquímicos, os quais são a base do funcionamento dos sistemas naturais do planeta. O ciclo do carbono é o que está mais intimamente ligado a este processo e devido a estas alterações, este ciclo pode ser desbalanceado, acarretando o acúmulo deste elemento em estado gasoso na atmosfera (Martins, 2004).

Com o objetivo de mitigar os efeitos do aquecimento global e o acúmulo destes gases na atmosfera, foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), assinada e ratificada por 175 países. Então, desde 1995 os países signatários realizam reuniões anuais com o objetivo de firmar um acordo internacional para a redução de emissões de GEE (Britez et al., 2006). No ano de 1997, o acordo foi firmado entre países desenvolvidos e em desenvolvimento para definir os instrumentos que objetivem a redução de gases do efeito estufa, com metas e prazos o qual ficou conhecido como o Protocolo de Quioto. Este Protocolo define três mecanismos de flexibilização, Comércio Internacional de Emissões (CIE), Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Implementação Conjunta (IC) os quais buscam facilitar o compromisso de redução da emissão de gases por grandes poluidores e países desenvolvidos. Mais especificamente o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), onde países do Anexo I (desenvolvidos) têm a possibilidade de desenvolver projeto para a redução dos GEE em países que não pertençam ao Não Anexo I (em

desenvolvimento) pode ter aplicações nas áreas de eficiência energética, fontes alternativas de energia, reflorestamento, dentre outras (Scarpinella, 2002).

Considerando que projetos de reflorestamento possam ser incluídos em projetos de MDL, a possibilidade de utilização do mecanismo de absorção do CO₂ por parte das plantas no processo de fotossíntese está prevista também no Protocolo de Quioto e se torna importante para o cumprimento das metas de redução (Martins, 2004). Projetos que visem a fixação de carbono na biomassa vegetal podem gerar inúmeros benefícios ambientais e econômicos para países em desenvolvimento como o Brasil, visto que, as florestas têm um papel fundamental na redução da concentração do carbono atmosférico (Britez et al., 2006). A realização de estudos com florestas plantadas depende de vários fatores, porém, quando se trata de florestas em vegetação ciliar, elementos como, os atributos dos solos, processos de transporte e deposição fluvial e oscilações do lençol freático, são determinantes e seletivos para a presença de determinada vegetação ao longo dos cursos hídricos (Curcio et al., 2006). Mais especificamente no Vale do Itajaí, além dos fatores limitantes para o desenvolvimento das espécies naturalmente, a ocupação e o intenso desmatamento vêm dificultando a regeneração destas áreas nas últimas décadas, criando um ambiente muito fragmentado, com pouca diversidade florística e altos níveis de erosão ao longo de todo seu trecho (Vibrans, 2003; Curcio et al., 2006).

Como conseqüências de práticas de manejo inadequadas nos solos surgem alterações que influenciam vários componentes dos ecossistemas, como a composição das comunidades vegetais, a biodiversidade e as relações ecológicas existentes no solo (Siqueira, 1991; Silva, 2009). Dentre estas relações do solo, a simbiose micorrízica arbuscular é caracterizada como uma associação entre os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as plantas (Souza e Silva, 1996). A simbiose ocorre através da interação entre as plantas e os fungos, por meio das hifas, as quais são especializadas na absorção de nutrientes (principalmente fósforo) e água para as plantas em troca de carboidratos para seu desenvolvimento (Finlay, 2008; Silva, 2009). A inoculação micorrízica garante efeitos benéficos tanto para a planta como para o solo, podendo ter utilidade agrônômica, florestal e de recuperação ambiental (Siqueira et al., 2002).

Tendo em vista a situação de degradação encontrada no vale do Itajaí, desde 2007 vem sendo desenvolvido o projeto que visa realizar estudos sobre a fixação de carbono, através da recuperação ambiental na Bacia do Itajaí. Os estudos apresentados nesta dissertação fazem parte deste projeto e está ligado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da

Universidade Regional de Blumenau. Os estudos serão divididos em três linhas de ações: a primeira, com o objetivo de realizar o acompanhamento do desenvolvimento de espécies florestais nativas nos períodos iniciais em casa de vegetação. A segunda é avaliar o desenvolvimento e a sobrevivência de duas espécies nativas inoculadas com FMA, plantadas em dois tipos de solos distintos, na floresta ciliar do rio Itajai-açu. A terceira é avaliar o acúmulo de biomassa de três espécies vegetais inoculadas com quatro isolados de FMAs sob dois tipos de solos. Com isso pretende-se, relacionar a fixação de carbono atmosférico na biomassa vegetal, recuperação ambiental e as potencialidades inerentes a inoculação com FMA.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Determinar o efeito da inoculação micorrízica no crescimento, fixação de carbono na biomassa e estabelecimento inicial de espécies arbóreas nativas, indicadas para a recuperação de florestas fluviais.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar a produção de biomassa, teores de açúcar solúveis, amido e porcentagem de colonização micorrízica em plântulas de duas espécies arbóreas nativas em associação com fungos micorrízicos arbusculares;
- b) Quantificar a biomassa e a porcentagem de colonização por FMAs em três espécies arbóreas nativas cultivadas em casa de vegetação em dois tipos de solos.
- c) Estimar o efeito da associação micorrízica no crescimento e na sobrevivência de espécies arbóreas nativas quando transplantadas a campo;
- d) Avaliar o crescimento em altura e diâmetro de espécies arbóreas nativas plantadas em ambiente fluvial, em duas classes de solo.

3. Referencial Teórico

3.1. Emissões de CO₂ e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

A intensa exploração do homem sobre o meio ambiente teve início após a Revolução Industrial, onde o impacto das atividades tomou rumos preocupantes e em diferentes escalas. Estas atividades envolviam principalmente a queima de combustíveis fósseis, os quais produzem os chamados gases de efeito estufa (GEE). Dentre os principais gases encontrados estão o metano (CH₄), o óxido nitroso (NO_x) e o gás carbônico (CO₂). Entre esses, o CO₂ é emitido em quantidades elevadas, quando comparado aos outros gases, devido à queima dos combustíveis fósseis e ao desmatamento, visto a necessidade de expandir as áreas cultivadas sobre as florestas (Resende et al., 1996 apud Alvarenga et al., 1999; Machado, 2005). Em condições naturais, os gases do efeito estufa têm alto valor para o balanço energético no planeta (Machado, 2005). Porém, o que vemos atualmente é um aumento desproporcional na emissão dos GEE e como conseqüência disso, a temperatura global tem aumentado significativamente nos últimos anos e em períodos de tempo cada vez menores (Britez et al., 2006). Com isso, o balanço global de carbono atmosférico (CO₂) no planeta pode chegar a 8 bilhões de toneladas, pela queima de combustíveis fósseis e mudanças dos usos da terra, potencializando o aumento do efeito estufa (Nobre e Nobre, 2002).

Para conter o aumento da temperatura e das emissões de CO₂ na atmosfera, algumas medidas podem ser adotadas, tais como: a) aumentar a eficiência de fontes energéticas; b) substituir fontes de energia, por outras menos poluentes e c) fixar o carbono atmosférico, através de sua incorporação na biomassa vegetal via fotossíntese (Martins, 2004). Uma das maneiras de fixar o carbono atmosférico é através dos sistemas ecológicos terrestres, onde o carbono é retido na biomassa viva e no solo. Nestes sistemas, este elemento é trocado naturalmente entre o componente vegetal e o solo com a atmosfera, através da fotossíntese, da respiração, da decomposição e da combustão. As atividades humanas mudam os estoques de carbono através dos diferentes usos do solo, como por exemplo, o desmatamento e posterior queima desta biomassa vegetal, resultando em uma soma substancial de carbono excedente liberado na atmosfera (Ipcc, 2000).

Para marcar efetivamente o início das discussões sobre o efeito estufa e suas conseqüências, no ano de 1992, durante a Rio 92, foi criada a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), que tem por objetivo propor aos países industrializados que estabilizassem o lançamento dos GEE. Desde então, ocorrem reuniões dos países a fim de encontrar e discutir

soluções; até o momento, foram realizados dez encontros, conhecidos como a Conferência das Partes (COP) (Rocha, 2003). Durante a sétima Conferência das Partes (COP 7), ocorrida no Marrocos, em 2001, definiu-se a regulamentação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Este mecanismo consiste na troca de cada tonelada de CO₂ não emitida por créditos que podem ser negociados no mercado mundial, sendo que, as empresas que não atingirem as metas de reduções, poderão comprar os créditos ou Certificados de Redução de Emissão (CRE) a fim de compensar suas emissões. Os projetos de MDL podem ser divididos em diferentes modalidades: Fontes renováveis de energia; Eficiência e conservação de energia, Reflorestamento e estabelecimentos de Florestas (Krug, 2005; CQNUMC, 2001 apud; Rocha, 2003; Godoy 2005).

Uma das grandes vantagens do MDL é implicar nas reduções de emissões adicionais de GEE, para que de alguma forma possa ser garantido benefícios mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (Mct, 2009). No que tange os projetos de MDL, também foram estabelecidas as definições para os projetos de LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry), que atrela os projetos de florestamento e reflorestamento aos MDL (Godoy, 2005). Dentre os projetos de MDL, o LULUCF aponta as florestas, como uma das alternativas para o sequestro do CO₂ atmosférico (Ipcc, 2001). Porém, existe uma grande lacuna de conhecimento quando se pensa em estudo do ciclo do Carbono para o Bioma da Mata Atlântica, em especial na Floresta Ombrófila Densa, como um importante sumidouro para o carbono atmosférico.

3.2.Fotossíntese e fixação de carbono na biomassa vegetal

Vários organismos se utilizam do carbono para manter os seus processos vitais. Dentre estes organismos, as plantas utilizam carbono e vapor da água, para que na presença da luz solar, compostos formados por carbono, hidrogênio e oxigênio sejam sintetizados, formando a glicose; neste processo a energia solar é absorvida, armazenada e transformada em energia de ligação química (Braga, 2002). O CO₂ entra e sai das folhas por difusão e quando absorvido pelas células vegetais serve de matéria-prima para a síntese de compostos orgânicos os quais são incorporados na biomassa vegetal e atuam nos processos metabólicos da planta (Martins, 2004). O metabolismo do CO₂ no interior das células das plantas é relacionado com a quantidade de carbono em circulação na atmosfera. Durante o processo de fotossíntese, a planta fixa o CO₂ e libera o O₂ ao passo que durante a respiração ela libera o CO₂ e consome o O₂ (Larcher, 2006).

Pela fotossíntese, a energia radiante é absorvida e transformada em energia de ligação química, sendo assim, a condição determinante para o processo fotossintético ocorrer é a absorção de energia radiante pelos cloroplastos. O processo tem início assim que a radiação fotossinteticamente ativa é absorvida pelos cloroplastos. A radiação ativa a clorofila no centro de reação, induzindo a perda de elétron, o qual é utilizado para a redução do NADP⁺. A clorofila sofre uma nova redução e para isso é necessário um elétron, que está disponível após a fotólise da água, que também irá liberar oxigênio. Os prótons ficam concentrados nos tilacóides dos cloroplastos, criando um gradiente protônico entre o interior e exterior, que gera a formação de um composto energético: ATP. Em reações primárias a energia ganha e o aumento no potencial de redução são empregados para a conversão do dióxido de carbono em substâncias com maior valor energético, os carboidratos (Larcher, 2006). Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa (Caldeira et al., 2000 apud Balbinot et al., 2003). O carbono que não é consumido pela respiração faz com que aumente a produção de matéria seca da planta, sendo aplicado no crescimento ou reserva da mesma. De maneira geral, quanto maior o ganho de CO₂, maior será o crescimento em biomassa da planta, que está diretamente relacionado com a capacidade fotossintética de cada espécie (Larcher, 2006). Sendo assim, o estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas promove o incremento nas reservas de carbono (Balbinot et al., 2003).

3.3. Recuperação de Ambientes Fluviais

Ao longo dos séculos, o desenvolvimento do ser humano tem mudado drasticamente as estruturas e funcionalidades dos ecossistemas por todo o planeta (Reis et al., 2010). Estas intervenções no meio ambiente vêm causando reduções críticas na produtividade dos solos, na biodiversidade e nas funções ambientais dos ecossistemas, o que conseqüentemente transcendem as áreas afetadas, visto que são realizadas sem planejamento ambiental adequado. As florestas têm sido os ambientes mais fortemente atingidos, tanto pelo uso dos recursos naturais como pelo aumento demográfico (OPA, 2007). Alvarenga (2004), caracteriza a vegetação ciliar como as formações florestais localizadas às margens de rios, lagos, nascentes e demais cursos e reservatórios de água. As florestas ao longo dos rio Itajaí em Santa Catarina encontram-se amplamente alteradas, com o comprometimento quase que na totalidade de suas florestas ciliares. Estas alterações não afetam somente o ambiente, mas também ao homem (Curcio et al., 2006).

Os projetos que envolvam o plantio de florestas, tanto nativas como exóticas, podem auxiliar na mitigação do efeito estufa, através da fixação do CO₂ atmosférico na biomassa vegetal. Estes projetos influenciam a sociedade de diferentes formas como a conservação da biodiversidade, do solo, da água e na recuperação de áreas degradadas (Britez et al., 2006). Visto a importância das florestas para a mitigação do carbono lançado na atmosfera e para a conservação da biodiversidade local, Williams et al. (1998) afirma que as florestas tropicais estão entre um dos mais importantes biomas, em termos de ciclo anual de carbono e evapotranspiração. Britez et al. (2006), através da aplicação de equações matemáticas e uso de estudos fitossociológicos, afirmam que a média de estoque de carbono para a Floresta Ombrófila Densa chegou em torno de 152,9 Mega-gramas C/ha, ao passo que para a Floresta Estacional Semidecidual o estoque é em média de 108,6 Mega-gramas C/ha. Visto a demanda de conhecimento nesta área, surgem novas pesquisas sobre restauração de florestas que busque quantificar o serviço ambiental prestado pelos diferentes modelos de plantio e discutir a eficácia destes modelos na efetiva redução dos níveis de CO₂ na atmosfera (Melo e Durigan, 2006).

Diferentes fatores ambientais como a disponibilidade de água, fertilidade do solo e radiação luminosa podem alterar o balanço de carbono e conseqüentemente a produção de matéria seca (Taiz e Zeiger, 2004). Sendo assim, para realizar a avaliação do estoque de carbono em florestas é necessário mensurar a biomassa de todos os seus componentes, podendo estar acima ou abaixo do solo, além de serem medidos separadamente. Enquanto a mensuração direta de cada componente é desconhecida, estima-se que a biomassa vegetal viva seja, em média, composta por 50% de carbono (Britez et al., 2006; MacDicken, 1997). A estimativa de biomassa pode ser realizada utilizando-se dados de levantamento fitossociológicos já publicados, os quais utilizam medições de diâmetro e altura das árvores para obtenção dos valores de biomassa e estoque de carbono. Outro componente importante da biomassa vegetal para a quantificação do carbono é o sistema radicular. Para a mensuração deste componente podem ser empregadas metodologias diretas, as quais consistem na escavação do sistema radicular das espécies (Britez et al., 2006; Brown, 1997).

A biomassa pode variar de acordo com as tipologias florestais em que estão inseridas e de acordo com as limitações ecológicas impostas pelo ambiente, principalmente as relações hídricas e tipologia de solos. Sendo assim, surgiram novas pesquisas sobre restauração de florestas, aplicadas a diferentes modelos de plantio com diferentes situações ambientais, a fim de se testar a eficácia na fixação do CO₂ atmosférico (Melo e Durigan, 2006).

Outro importante fator que deve ser levado em consideração em projetos de recuperação e estabelecimento de florestas ciliares são as correntes fluviais, as quais apresentam um grande poder de esculturação do terreno (Bigarella, 2003). Os rios podem apresentar diferentes fisionomias, influenciando tanto no processo de ocupação humana, quanto no processo de estabelecimento de espécies vegetais nas suas margens. Os padrões de canais são descritos por Guerra e Cunha (1996) e podem ser caracterizados como retilíneo, anastomosado ou meândrico (Figura 1).

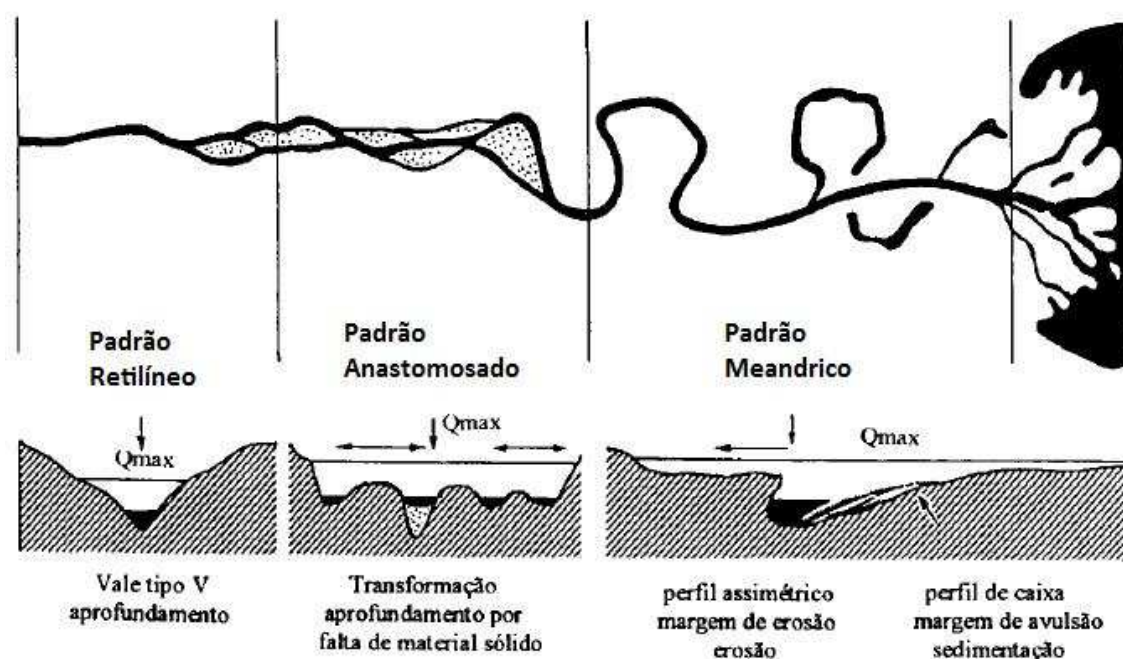


Figura 1 – Padrões de canais de rios existente no rio Itajai-açu. Adaptado de Binder (1998).

Em seu curso superior, o rio apresenta um canal estreito, raso e com padrão retilíneo com controle estrutural. Este associado com leito rochoso, igualdade de resistência a velocidade e turbulência das águas, aumentam conseqüentemente o trabalho realizado pelo rio em relação a erosão, transporte e deposição (Guerra e Cunha, 1996). Conforme ocorre o avanço em direção a jusante, o rio corta terrenos menos inclinados, diminuindo sua velocidade, perdendo parte da competência de transporte e então, formando as chamadas ilhas. No curso inferior o rio é caracterizado por ser largo, bastante profundo e muito sinuoso. A diminuição da velocidade da água, a perda de competência de transporte, permite maior sedimentação sobre o fundo. Ao longo do leito fluvial são definidas margens de degradação e deposição, o que da origem a condição de meandros (Guerra e Cunha, 1996; Bigarella, 2003). Na foz do rio, os sedimentos carreados pela erosão são depositados, ocorrendo, assim a formação dos deltas (Suguió e Bigarella, 1979; Christofolletti, 1980; Guerra e Cunha, 1996).

Sendo assim, para a recuperação de florestas fluviais deve-se considerar a ação morfogenética dos rios, com intensa participação na modelagem do relevo, principalmente nas planícies (Suguio e Bigarella, 1979; Ab´Saber, 2000).

Esta ação dos rios sobre as margens tem influência direta na vegetação, ao longo dos rios, as quais segundo o código florestal brasileiro (Lei nº 4771 de 15 de Setembro de 1965) são consideradas Área de Preservação Permanente (APP) e têm importantes funções no que tange a proteção e manutenção do regime hídrico nos corpos d’água. Vilela (2006) coloca que a floresta ciliar tem como uma de suas importantes funções, a manutenção da quantidade e qualidade da água, estabilidade do solo e controle de processos erosivos. As florestas também retêm nutrientes e sedimentos em suas raízes, reduzem o efeito das chuvas sobre o solo através da interceptação e são importantes para a estabilidade dos agregados dos solos (Guerra e Cunha, 1996; Bigarella, 2003). Porém, para a efetiva implantação de projeto de recuperação de florestas fluviais é necessário compreender a distribuição das espécies ao longo dos rios. Isso só é possível após a compreensão da distribuição dos solos nessas paisagens, pois a dinâmica fluvial determina os vínculos com o posicionamento dos solos na paisagem (Curcio, 2006). Os modelos hidrológicos de cada rio também podem criar seletividade de espécies nos ambientes fluviais, pois o tempo de encharcamento do solo vai definir o estabelecimento das espécies (Joly, 1991 apud Rodrigues e Shepherd, 2000). Associado a modelagem do relevo nos rios, em um intervalo de tempo geológico relativamente recente, foram criadas condições geológicas para o desenvolvimento das florestas ciliares (Ab´Saber, 2000). Os trabalhos relacionados a restauração de florestas ciliares tem como principal objetivo restaurar as funções de proteção aos recursos hídricos e de diversidade do solo e restabelecer a diversidade biológica e os processos ecológicos presentes no ecossistema original. Porém, hoje se atenta a uma nova função para a recuperação de florestas ciliares, qual seja, sumidouros de carbono (Sanqueta e Balbinot, 2004; Melo e Durigan, 2006).

As várias especificidades dos ambientes fluviais são ampliadas quando se pensa nas mudanças antrópicas a que estão sujeitas e quais as conseqüências disto sobre a comunidade biológica do solo. Os microrganismos do solo estão em constante mudança e sofrendo adaptações à estas mudanças no seu ambiente. A natureza dinâmica deste grupo torna um indicador sensível para avaliar as alterações no solo decorrentes de alterações de manejo (Kennedy e Papendick, 1995). Sendo assim, uma das estratégias utilizadas para a recuperação de florestas fluviais e minimização dos efeitos antrópicos sobre os solos é através de projetos de revegetação com plantas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estes

fungos se destacam pela importância no auxílio ao crescimento das plantas em solos com baixa fertilidade, tornando-as resistentes a estresse hídrico, altas temperaturas e ataque de patógenos (Miranda, 1981; Newman, 1988 apud Alves, 2004). Jasper et al. (1991) citam que solos que apresentem naturalmente baixa fertilidade e baixo potencial de inóculo em áreas a serem reflorestadas, a inoculação com FMAs, na fase inicial das mudas, é fundamental para o sucesso do reflorestamento.

3.4. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)

A diversidade microbiana dos solos tem sido considerada um importante fator de sustentabilidade de ecossistemas, pois facilitam a estrutura edáfica, contribuem para o controle biológico e controlam a disponibilidade de nutrientes às plantas (Tate e Klein, 1985; Souza e Silva, 1996). As plantas têm a capacidade de constituir uma simbiose mutualística com microrganismos que auxiliam a obtenção de nutrientes em locais com condições adversas para seu estabelecimento (Souza e Silva, 1996). Entre estas simbioses destaca-se a micorriza como uma das associações simbióticas mutualísticas mais comuns na natureza, sendo formadas por certos fungos do solo e as raízes da grande maioria das plantas (Smith e Read, 1997). Os fungos são responsáveis por estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira e a biota do solo, resultando em geral no aumento da capacidade de estabelecimento, desenvolvimento e reprodução das plantas, assim como auxiliando na estruturação do solo (Souza e Silva, 1996), desempenhando um papel central em muitos processos microbiológicos e ecológicos, que influenciam a fertilidade do solo, decomposição, ciclagem de minerais e matéria orgânica, bem como à saúde e nutrição de plantas (Finlay, 2008). Por meio dessa associação, a planta fornece ao fungo carboidratos necessários ao seu crescimento, enquanto que o fungo, por meio de suas estruturas externas (hifas), auxilia na absorção e transferência dos nutrientes para a planta (Pascoal e Navarro, 1985; Antonioli e Kaminski, 1991; Smith e Read, 1997). As micorrizas além de absorver os nutrientes, possuem um alto poder de mobilização destes nutrientes, principalmente fósforo. Isso se deve ao fato de estar em maior contato com a superfície do solo, além de possuir alto grau de eficiência na utilização de compostos orgânicos (Prado, 1998).

As micorrizas arbusculares (MA) e as ectomicorrizas são os tipos mais comuns na maioria dos ecossistemas. As MA são formadas por fungos da Divisão Glomeromycota conhecido como fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) e colonizam as raízes de plantas de grande parte dos gêneros de Pteridófitas, Gimnospermas e Magnoliophytas. Estes fungos

colonizam as células do córtex das raízes, formando estruturas extremamente ramificadas, conhecidas por arbúsculos, responsável pelas trocas de nutrientes entre os simbioses. As ectomicorrizas são formadas principalmente por fungos da Divisão Basidiomycota, que também penetram no córtex intercelular, formando a rede de Hartig, criando um manto fúngico ao redor das raízes, causando grandes mudanças morfológicas nas raízes (Moreira e Siqueira, 2006; Siqueira et al., 2002).

Os FMAs são simbiotróficos obrigatórios, pois completam seu ciclo de vida apenas se estiverem associados a uma planta hospedeira, a qual lhes fornece carboidratos e outros fatores necessários ao seu desenvolvimento e esporulação (Siqueira et al., 1985). Os FMAs desempenham um papel central em muitos processos microbiológicos e ecológicos, que influenciam a fertilidade do solo, decomposição, ciclagem de minerais e matéria orgânica, bem como à saúde e nutrição de plantas (Finlay, 2008). As micorrizas são conhecidamente mais eficientes na absorção de nutrientes de baixa mobilidade, como Cu, P e Zn. Porém, os efeitos nutricionais nas plantas dependem da disponibilidade de nutrientes no meio de crescimento, sendo mais acentuados em condições de deficiência, especialmente de P, o qual tem relação direta com o incremento em biomassa da planta (Siqueira et al., 2002). Sendo assim, o fluxo de nutrientes é a base para este balanço entre o fungo e a planta hospedeira. A troca de nutrientes ocorre da seguinte forma: O P é absorvido na solução do solo pelas hifas por um processo ativo, sendo transformado em polifosfato, os quais são transportados pela corrente citoplasmática até os arbúsculos. Nos arbúsculos os polifosfatos são hidrolisados por fosfatases, liberando Pi, que é transferido para o hospedeiro e translocado para as folhas através do xilema. No sentido oposto da simbiose, ocorre o fluxo de fotossintatos que sustenta o crescimento e atividade metabólica do fungo na raiz e no solo (Schwab et al., 1991; Moreira e Siqueira, 2002).

Segundo Jennings (1995), os FMA obtêm a maior parte da sua constituição de carbono da planta hospedeira. Os FMAs ainda podem ser considerados drenos para o carbono atmosférico. De maneira mais ampla, os FMA influenciam na competição entre plantas, pois existem diferentes graus de dependência micorrízica entre as mesmas, fazendo com que a absorção de água e nutrientes minerais pelas plantas sejam aumentados, influenciando diretamente na composição de espécies nos ambientes (Zangaro e Andrade, 2002). Hoje são conhecidas inúmeras espécies de plantas as quais estabelecem simbiose com os FMAs, demonstrando assim uma importante função ecológica nos ecossistemas florestais (Siqueira et al., 1994; Janos, 1996). As plantas, quando inoculadas com micorrizas, podem

e elevar o crescimento, aumentando sua capacidade de absorção mineral, especialmente em solos pobres ou com pouca disponibilidade de nutrientes (Janos, 1980), demonstrando assim, que o uso da inoculação de FMAs em plantas a serem utilizadas na recuperação de ambientes degradados é uma estratégia importante. Vários autores comprovam o efeito da inoculação de espécies florestais nativas com FMA. Zangaro et al. (2003) testaram a resposta a inoculação micorrizica em 80 espécies florestais nativas do Brasil de diferentes grupos sucessionais e obtiveram respostas mais significativas a inoculação micorrizica em espécies pioneiras quando comparadas a outros grupos sucessionais. Pouyu-Rojas et al. (2006), ao avaliar a compatibilidade simbiótica de FMA com espécies arbóreas tropicais, destacam a alta colonização micorrizica dentre as espécies estudadas, destacando a espécie *Luehea divaricata*, que apresentou significativo incremento de biomassa com inoculação micorrizica. Vandresen et al. (2007) avaliaram a relação entre a inoculação micorrizica e a adubação de pós-transplante em cinco espécies nativas do Sul do Brasil e destacam que duas das espécies utilizadas (*Croton urucurana* e *Senna macranthera*), apresentaram significativo aumento da razão raiz:parte aérea, quando inoculadas com FMA, fator este potencializado pelo substrato aplicado. Apesar dos inúmeros casos do estabelecimento da associação micorrizica, deve ser observado que esta relação depende de vários fatores como: características químicas e físicas do solo, espécies da planta hospedeira, ambiente e manejo utilizado na área (Moreira e Siqueira, 2006). Os efeitos nutricionais das micorrizas nas plantas ainda dependem da disponibilidade de nutrientes no meio de crescimento, sendo mais acentuados em condições de deficiência, especialmente de P, o qual tem relação direta com o incremento em biomassa da planta (Siqueira et al., 2002). A absorção do P gera um aumento deste nutriente tanto na raiz como na parte aérea, refletindo em um aumento na biomassa vegetal (Zangaro & Andrade, 2002).

Por fim, é de consenso que as micorrizas são importantes agentes biológicos que auxiliam na regeneração de áreas degradadas, onde usualmente existem solos com deficiência de nutrientes, principalmente N e P (Siqueira et al., 2002). Pearson et al. (1994) citam que a maioria dos estudos mostra uma relação positiva entre as concentrações de carboidratos solúveis e a porcentagem de colonização micorrizica nas plantas. As micorrizas beneficiam o crescimento das plantas, além de favorecer o estabelecimento em locais onde poderia ser impróprio para seu crescimento. A utilização de micorrizas na recuperação depende da inoculação do fungo em hospedeiro compatível, mas também se deve destacar a importância das micorrizas no processo de recuperação (Moreira e Siqueira, 2002).

Um aspecto fundamental na simbiose micorrízica está atrelado ao manejo do carbono fixado, tornando-se essencial, devido a grande quantidade de carbono existente (Bago et al., 2000). Nesse transporte, o carbono é transferido em forma de açúcares (Bago et al., 2000). As células corticais do hospedeiro podem liberar açúcares para o simbiose na relação planta-fungo através de efluxos passivos que podem estimular a presença dos fungos nas raízes (Woolhouse, 1975). Douds et al. (2000) citam que a quantidade de carboidratos presentes nas raízes de plantas micorrizadas é consideravelmente maior que em plantas não micorrizadas, podendo ser considerado um importante dreno para fotoassimilados.

3.5. Açúcares solúveis

O conteúdo energético das plantas aumenta com um maior conteúdo de carbono. Os lipídios, as ligninas e outros diferentes produtos do metabolismo secundário são materiais orgânicos das plantas que apresentam alto teor de carbono, sendo assim as partes que são constituídas por essas substâncias são ricas em energia. Quando o carbono existente não é consumido, aumenta a matéria seca da planta e pode ser aplicado ao crescimento ou reserva portanto o crescimento da planta aumenta com um maior ganho de carbono, que está relacionado com a capacidade fotossintética de cada espécie. Os carboidratos são um dos principais constituintes das plantas, representando mais de 60% da matéria seca vegetal e são produzidos através da assimilação do CO₂ durante a fotossíntese e distribuídos por toda a planta (Larcher, 2006). Eles são importantes fontes de energia e compõem a parte estrutural das células (Kays, 1991 apud Caniato et al., 2007) além de estar relacionados a muitos processos vitais, tais como: germinação de sementes, desenvolvimento de mudas, desenvolvimento radicular e diferenciação do tecido foliar, maturação do fruto e senescência, bem como respostas aos estresses desencadeados pela luz ou patógenos. Estes processos também são controlados por hormônios durante o crescimento e desenvolvimento das plantas (León e Sheen, 2003).

Antes mesmo de seu crescimento as plantas já acumulam reservas para seu estabelecimento inicial, sendo ativados e dando início a produção dos açúcares. Portanto, a maior parte do carbono assimilado é utilizado para formar carboidratos (sacarose e amido) fornecendo energia suficiente para a respiração e fragmentação dos compostos de carbono (Trevisan et al., 2003; Kerbauy, 2004).

As plantas são capazes de produzir açúcares através da fotossíntese e com o potencial de modificar seu desenvolvimento de acordo com a disponibilidade de açúcar (Gibson, 2004).

Já o carboidrato mais comumente encontrado em sementes é o amido, com função exclusivamente de reserva (Amaral, 2001). Estas reservas são basicamente utilizadas para a manutenção e desenvolvimento do embrião até a formação da plântula podendo funcionar como fonte de energia ou como fonte de matéria para constituição de tecidos vegetais, futuros constituintes das plântulas (Buckeridge et al., 2004).

3.6. Amido

O amido é o principal carboidrato de reserva encontrado, estas reservas podem ser subdivididas em dois tipos, primeiro para a produção inicial de energia para o início da germinação e outra que é usada pelas plântulas em seu crescimento e transferência principalmente de carbono e nitrogênio dos tecidos de reserva para as estruturas de desenvolvimento na plântula (Buckeridge et al., 2004). Parte dos carboidratos gerados na fotossíntese é utilizada para satisfazer as necessidades biossintéticas das células foliares, fluindo para o metabolismo respiratório, para o metabolismo do nitrogênio e outras biossínteses. A parcela excedente de carboidratos pode ser exportada das células fotossintéticas na forma de sacarose, ou ser armazenada no próprio cloroplasto na forma de amido. O destino do carbono nos tecidos fotossintéticos depende, portanto, do estágio de desenvolvimento foliar. Durante o período luminoso, o amido acumula-se no estroma dos cloroplastos, ao passo que durante a noite, o amido é consumido na respiração. Assim, a maior parte do carbono fixado durante a fotossíntese, é direcionado para a formação dos carboidratos, principalmente sacarose e amido, responsáveis por fornecer energia às plantas para manter vários processos de biossíntese (Kerbaudy, 2004)

As espécies pioneiras de estágio inicial de sucessão aumentam suas copas continuamente e suas folhas têm grande capacidade fotossintética, porém com baixo tempo de vida. Já, as espécies de estágio avançado têm o desenvolvimento de sua parte aérea descontinuada e a capacidade fotossintética de suas folhas é baixa mas mantida até atingir a senescência das mesmas. Nas plantas, os produtos assimilados nos tecidos fotossinteticamente ativos são transportados para ser consumidos ou estocados (sementes e frutos). Nestas espécies as folhas de vida longa apresentam maiores valores de massa seca por unidade de superfície quando comparadas as folhas de vida curta além de uma maior composição de substâncias orgânicas, ou seja, compostos mais onerosos para a planta (Larcher, 2006). Após a síntese do amido nas folhas, ocorre o acúmulo deste carboidrato tanto em semente, fruto, tubérculos e raízes. As plantas ao absorverem o carbono através da fotossíntese, qualquer

interferência neste processo acarretará alterações na síntese do amido (Buckeridge et al., 2004).

4. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na biomassa seca e porcentagem de colonização de *Schinus terebinthifolius*, *Allophylus edulis* e *Alchornea glandulosa* em duas classes de solos fluviais da bacia do Itajaí.

4.1.RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da inoculação de FMAs em três espécies arbóreas quando plantadas em dois tipos de solo. Foram utilizadas três espécies arbóreas nativas (*Schinus terebinthifolius*, *Alchornea glandulosa* e *Allophylus edulis*) submetidas a quatro tratamentos de inoculação com isolados fúngicos (*Gigaspora albida*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora Koskei* e *Entrophospora colombiana*) além do controle em dois tipos de solos (Cambissolo e Gleissolo). Foram realizadas análises de responsividade máxima das plantas (%), porcentagem de colonização e quantificação da massa seca dos indivíduos. Nas comparações dos tratamentos micorrízicos em relação ao controle, na biomassa aérea, somente *Entrophospora colombiana* em Gleissolo apresentou diferenças em relação ao controle para *A. glandulosa*. Nas raízes, somente *Scutellospora heterogama* teve diferença estatística em relação ao controle para *A. glandulosa* em Cx. *E. colombiana* e *G. albida* também apresentaram diferenças para *S. terebinthifolius* e *A. edulis*, porém como os menores valores. A responsividade das plantas aos fungos mostrou que *E. colombiana* em Gx foi a espécie de fungo mais responsiva, colonizando as três espécies arbóreas. *S. heterogama* foi a mais responsiva para Cx, colonizando duas das três espécies de plantas. A partir das análises de ANOVA bifatorial foi evidenciado que os solos foram os principais fatores que estimularam o acúmulo de biomassa aérea para as três espécies. Do ponto de vista da recuperação ambiental o estudo da interação planta, solo e fungo são importantes para determinar quais isolados fúngicos e quais solos estimulam a produção de biomassa nas plantas.

Palavras-chaves: Acúmulo de Biomassa seca; Responsividade Micorrízica; Micorrizas

4.2.Introdução

O solo pode ser considerado um sistema dinâmico, onde fatores físicos, químicos e biológicos interagem de forma que a estrutura deste sistema seja suscetível a alterações as quais estão ligadas aos tipos de manejo adotado (Theodoro et al., 2003). Visto que a maior intensidade de atividade biológica do solo ocorre na camada superficial, a exposição aos processos erosivos, com remoção de material e manejo inadequado, provoca redução de sua qualidade (Alvarenga et al., 1999). Através de fatores hidrológicos, bioquímicos e biológicos os solos permitem o estabelecimento de relações ecológicas diversas, entre plantas e a biota do solo, as quais são importantes para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas (Siqueira et al., 1994). Dentre as relações mais comuns estabelecidas pelas espécies de plantas e fungos do solo, estão as micorrizas arbusculares, formadas pelos fungos micorrízicos arbusculares (Souza e Silva, 1996).

Estes fungos são responsáveis por estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira e o solo, resultando em maior absorção de nutrientes pela planta e, conseqüentemente, podendo influenciar a capacidade de estabelecimento, desenvolvimento e reprodução das mesmas, assim como auxiliando na estruturação do solo (Souza & Silva, 1996). O desenvolvimento das micorrizas resulta em uma variedade de benefícios para as plantas, principalmente no aumento da absorção de nutrientes, no favorecimento da relação água-planta e no aumento da agregação do solo (Siqueira e Saggin-Júnior, 1995). Os FMAs provêm nutrientes às plantas, em retorno recebe carboidratos e toda a fonte nutricional para o seu desenvolvimento (Schwab et al., 1991; Smith, 2009). Os carboidratos sintetizados pelas plantas são transferidos aos fungos, tornando-se sua primeira fonte de energia. Este fato pode ser refletido diretamente na colonização micorrízica, visto que com o aumento da colonização é maior a concentração de carboidratos solúveis presentes nas plantas (Schwab et al., 1991).

Os efeitos dos FMAs sobre as plantas podem ser classificados em nutricionais e não nutricionais. Os efeitos nutricionais estão ligados ao acúmulo de maiores quantidades de macro e micronutrientes. Já os efeitos não nutricionais das micorrizas, por exemplo, estão ligados ao favorecimento da relação água e planta (Moreira e Siqueira, 2006). Tanto os efeitos nutricionais como os não nutricionais são resultados de complexas interações entre as raízes, os fungos e o meio em que se desenvolvem, sendo que todos são afetados por diferentes fatores biológicos que controlam a efetividade das micorrizas no crescimento das plantas (Siqueira e Saggin-Júnior, 1995). Dentre os vários efeitos nutricionais das micorrizas um dos principais está ligado ao aumento na absorção de P (Koide, 1991), além de diversos estudos

também associarem o comportamento tolerante das micorrizas em relação a metais pesados existentes nos solos como Al, Mn e Zn (Moreira e Siqueira, 2006). Os efeitos do aumento na absorção de nutrientes no crescimento das plantas é resultado da colonização pelos FMAs no córtex radicular e seu crescimento extra radicular na matriz do solo (Smith e Read, 1997). Os FMAs também podem resultar em alterações positivas na comunidade microbiana na rizosfera e em aspectos fisiológicos das plantas, como: produção de hormônios, fixação biológica de Nitrogênio e resistência a doenças nas raízes (Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi, 1983; Ames et al., 1984). A simbiose micorrízica normalmente incrementa a biomassa vegetal e a fotossíntese, direcionando o fluxo de uma parcela significativa de fotoassimilados da planta hospedeira para o fungo (Bago et al., 2000).

Vários autores comprovam o efeito positivo da inoculação micorrízica de espécies florestais nativas com FMAs em seu crescimento e sobrevivência. Janos (1980) avaliou a importância das micorrizas no crescimento de 28 espécies tropicais e comprovou que as micorrizas aumentaram o crescimento ou sobrevivências em 24 das espécies estudadas. Zangaro et al. (2003) testaram a resposta a inoculação micorrízica em 80 espécies florestais nativas do Brasil de diferentes grupos sucessionais e obtiveram respostas mais significativas a inoculação micorrízica em espécies pioneiras quando comparadas a outros grupos sucessionais. Pouyu-Rojas et al. (2006) avaliaram a colonização micorrízica e os efeitos desta em 16 espécies vegetais e afirmaram que 4 destas possuem grande potencial para recuperação de áreas degradadas devido a alta promiscuidade em se associar com espécies de FMAs.

Considerando que muitos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de desenvolver tecnologias para a recuperação de ambientes fluviais, os resultados dos estudos acima sugerem que as interações entre plantas arbóreas e fungos micorrízicos podem representar um fator que contribui para que o processo de revegetação destes ambientes tenha maior eficiência. No entanto, poucos foram os estudos que consideraram o efeito de isolados fúngicos em distintos tipos de solos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes isolados de FMAs e sua influência no crescimento de três espécies arbóreas quando desenvolvidas com duas classes de solos fluviais.

4.3. Material e Métodos

4.3.1. Espécies vegetais

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação localizada na Universidade Regional de Blumenau (FURB) e consistiu na utilização de três espécies florestais nativas da Floresta Ombrófila Densa. A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi. é comumente conhecida como aroeira-vermelha, pertence a família Anacardiaceae e ocorre em diversas formações vegetais sendo muito comum na região Sul do Brasil. Esta planta é classificada como pioneira agressiva de fácil regeneração natural, que ocupa rapidamente capoeiras, com ampla dispersão de frutos, os quais são muito apreciados por pássaros. A espécie é encontrada desde zonas ripárias e áreas úmidas até áreas com solo pobre e terrenos secos (Lorenzi, 1998; Backes e Irgang, 2002). *Allophylus edulis* (A. St-Hill., A. Juss & Cambess.) pertence a família Sapindaceae e é conhecida por chal-chal, espécie pioneira comum em interiores de matas primárias e situadas próximas de solos úmidos, também em capoeirões e matas mais abertas (Lorenzi, 1998). *Alchornea glandulosa* Poepp. & Endll. também conhecida pelo nome popular de tanheiro, pertence a família Euphorbiaceae e muito utilizada para a recuperação de áreas degradadas, pois ocorre em vegetações secundárias e é classificada como uma espécie pioneira (Backes e Irgang, 2002). As mudas foram obtidas no viveiro florestal mantido por uma parceria entre a Universidade Regional de Blumenau e a empresa Bunge Alimentos.

4.3.2. Fungos Micorrízicos

Os FMAs utilizados neste experimento foram obtidos da Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota (CICG), mantida na Universidade Regional de Blumenau. Os isolados utilizados foram: *Acaulospora koskei* SCT406A-1, *Gigaspora albida* SCT201A, *Scutellospora heterogama* PNB102A e *Entrophospora colombiana* AMZ570A. Culturas puras destes fungos foram multiplicados em vasos 1,5 kg com argila expandida e areia na proporção 1:1 e *Brachiaria brizantha* como espécie hospedeira. Após 4 meses da inoculação a rega foi suspensa e os potes deixados secar *in situ*. O substrato juntamente com as raízes foram misturados e utilizados como inóculo micorrízico. O experimento de crescimento vegetal foi conduzido seguindo um fatorial de 5 tratamentos de inoculação em 2 tipos de solos com 10 repetições. As plantas foram pré-germinadas em tubetes de 60 cm³ preenchidos com substrato Plantmax®, pelo período de 45 dias e transplantadas para tubetes com volume de 270 cm³. Os tubetes foram preenchidos com uma mistura de areia com Cx ou Gx na proporção 1:1 a qual foi previamente esterilizada em autoclave (120°C, 1 atm por 60

minutos). A inoculação foi realizada através da aplicação de 5 mL de solo-inóculo, colocado em uma cova de aproximadamente 10 cm de profundidade no centro de cada tubete onde foi realizado o transplante das mudas.

4.3.3. Solos

Os solos utilizados foram coletados em regiões próximas ao rio Itajai-açu, na região do baixo vale do Itajai no município de Gaspar/SC. As coletas foram feitas com pás e o solo passado por uma peneira de 7 mm para retirar agregados maiores de solo e padronizar a granulometria. Os solos foram caracterizados através da abertura de trincheiras e as análises químicas e granulométricas apresentadas na Tabela 1. Um dos solos foi descrito como Gleissolo Melânico (Gx) Ta Alumínico típico – com horizonte A húmico textura muito argilosa e relevo plano. O outro solo foi caracterizado como Cambissolo Háptico (Cx) Tb Alumínico típico – com horizonte A moderado textura muito argilosa relevo forte ondulado.

Tabela 1 – Análise química e granulométrica de Gleissolo Melânico (Gx) e Cambissolo Háptico (Cx)

		Gleissolo	Cambissolo
Profundidade		0-23	0-13
Química	pH CaCl2	3,4	3,8
	Al (cmolc/dm³)	8,4	3,4
	H+Al (cmolc/dm³)	22	10,5
	Ca (cmolc/dm³)	0,3	0,5
	Mg (cmolc/dm³)	0,2	0,3
	K (cmolc/dm³)	0,17	0,12
	S (cmolc/dm³)	0,67	0,92
	P (mg/dm³)	9,1	3,1
	C (g/dm³)	58,2	18,4
	V (%)	3	8
Granulometria	Areia grossa (%)	0,3	2,4
	Areia fina (%)	0,2	3,8
	Silte (%)	39,5	26,3
	Argila (%)	60	67,5

4.3.4. Análise de dados

Decorridos 90 dias do transplante, foram realizadas as coletas para análise de biomassa seca e porcentagem de colonização. A análise de biomassa foi realizada através da coleta aleatória de seis indivíduos de cada tratamento. As raízes foram separadas da parte aérea e ambas foram deixadas em estufa a 60°C durante 72 horas, para posteriormente serem pesadas em balança de precisão. Para avaliar qual isolado de FMAs obteve melhores

resultados em cada uma das espécies de plantas utilizadas, os valores de massa seca da parte aérea (MSPA) foram utilizados para realizar o cálculo do índice de responsividade máxima da planta (RMP em %) segundo Pouyu-Rojas et al. (2006), onde se utiliza-se a máxima respostas obtidas pelas espécies de plantas, dado por:

$$\text{RMP} = \frac{\text{MSPA Máxima para planta inoculada} - \text{Controle}}{\text{Controle}} \times 100$$

4.3.5. Porcentagem de colonização micorrízica

Outras três plantas de cada tratamento foram destinadas para a descoloração das raízes através de método proposto por Koske e Gemma (1989). Inicialmente as raízes foram imersas em KOH 10%, levadas ao banho-maria em uma temperatura de 90° C durante 50 minutos. Após, as raízes foram lavadas em água corrente e imersas em uma solução de H₂O₂ alcalina e NH₄OH por cinco minutos. Posteriormente, as raízes foram lavadas e imersas em HCl 1% durante 10 minutos. Em seguida, o HCl 1% foi removido e foi adicionado a solução corante (glicerina e Azul de Tripán) e levadas ao banho-maria (90° C) por mais 50 minutos. Ao final as raízes foram lavadas e armazenadas em geladeira a 4°C. O método de quantificação da porcentagem de colonização micorrízica, seguiu a metodologia da placa quadriculada descrito por Giovanetti e Mosse (1980).

4.3.6. Análise estatística

Os dados de biomassa aérea e de raiz foram submetidos a uma análise de variância bifatorial para detectar se houve efeito dos solos, dos fungos e da interação solo-fungo. Esta análise mostrou que o tratamento de inoculação não influenciou na biomassa e após optou-se por comparar os tratamentos de inoculação relativamente ao controle (não inoculado), através do teste de Dunnett. Além disso, foi verificado se o isolado fúngico teve efeito diferenciado na biomassa das plantas de acordo com o tipo de solo, através do teste *t* de Student. As análises estatísticas foram realizadas através do software JMP®.

4.4. Resultados

4.4.1. Biomassa Seca

Os solos tiveram um efeito significativo na biomassa aérea de todas as três espécies arbóreas, mas influenciaram a biomassa radicular somente para *A. edulis* (Tabela 2). O tratamento fúngico influenciou significativamente apenas a biomassa de *A. glandulosa*, enquanto que a interação de ambos os fatores influenciou somente a biomassa aérea de *S. terebinthifolius* (Tabela 2).

Tabela 2 – Efeitos da inoculação com FMAs e solos, sobre a biomassa seca da parte aérea e de raiz nas espécies arbóreas. N.S. – Não significativo.

Espécies/Tratamentos	Biomassa Aérea (g)		Biomassa Raiz (g)	
	F	p<0,05	F	p<0,05
<i>A. glandulosa</i>				
Solo	5,415	0,038	3,338	N.S.
Fungo	4,902	0,028	0,061	N.S.
SoloxFungo	3,115	N.S.	0,821	N.S.
<i>A. edulis</i>				
Solo	32,942	0,000	13,505	0,002
Fungo	0,791	N.S.	2,179	N.S.
SoloxFungo	2,064	N.S.	2,392	N.S.
<i>S. terebinthifolius</i>				
Solo	7,073	0,015	3,714	N.S.
Fungo	2,478	N.S.	2,858	N.S.
SoloxFungo	7,912	0,001	2,855	N.S.

No Gx, as plantas de *A. glandulosa* inoculadas com *S. heterogama* e *A. koskei*, apresentaram elevada mortalidade e não foram incluídas nas análises (Figura 2A). Em Cx a biomassa aérea não foi afetada pela inoculação com FMA e apenas a biomassa de raiz de *A. glandulosa* inoculadas com *G.albida* foram significativamente maiores que o controle com 0,53g de biomassa. Para *S. terebinthifolius* não houve diferença estatística na biomassa aérea das plantas com FMA, relativas ao controle no Cx, enquanto que em Gx plantas inoculadas com *E.colombiana* produziram significativamente menor quantidade de biomassa aérea que plantas do controle, com 0,59g e 0,31g, respectivamente (Figura 2B). Plantas de *A. edulis* inoculadas com *E.colombiana* diferiram estatisticamente do controle em Cx (Figura 2C).

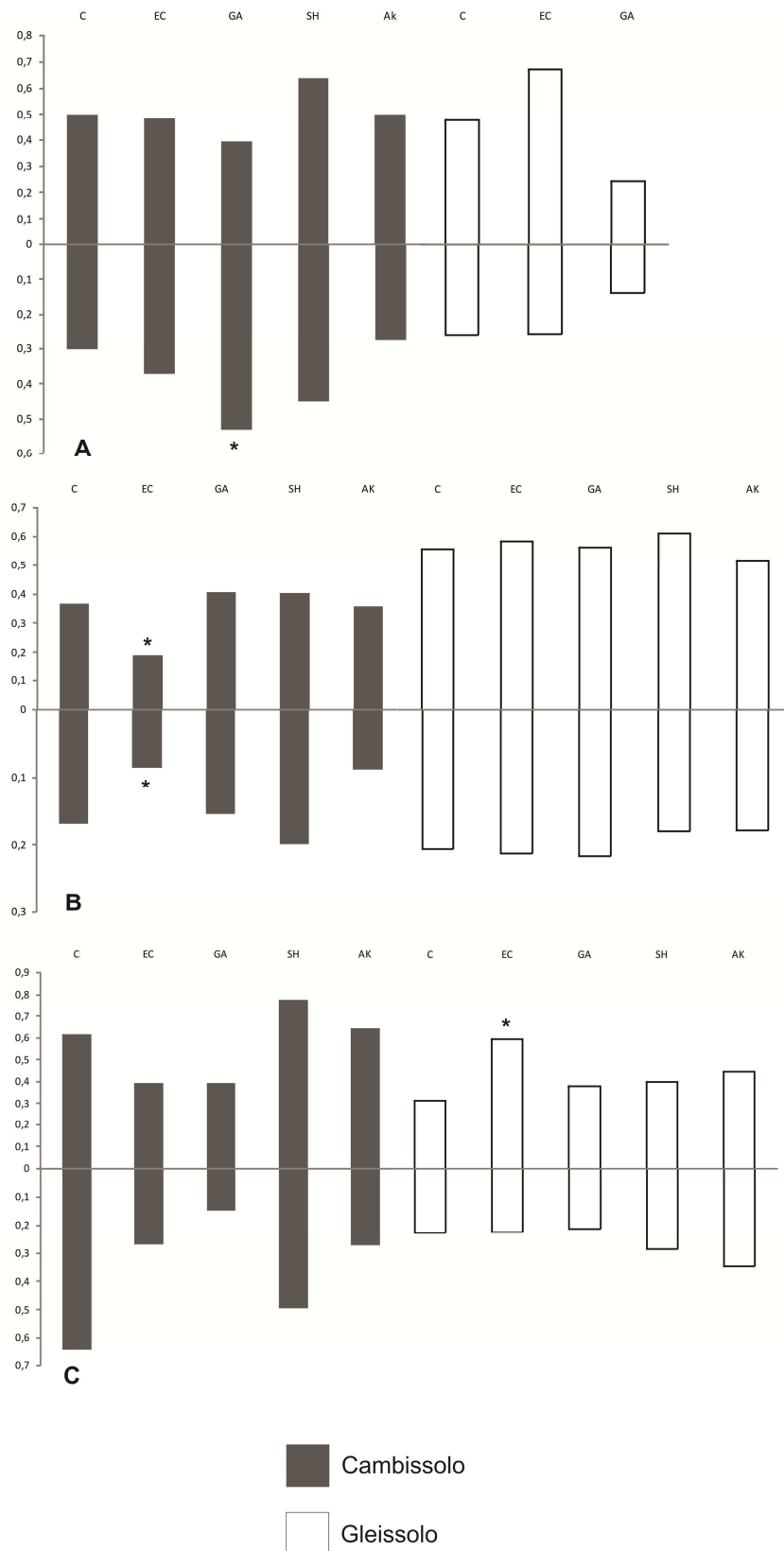


Figura 2 – Biomassa aérea e raiz (g) de *A. glandulosa* (A), *Schinus terebinthifolius* (B) e *Allophylus edulis* (C) em Gleissolo (Gx) e Cambissolo (Cx) nos tratamentos fúngicos C (Controle), GA (*Gigaspora albida*), SH (*Scutellospora heterogama*), AK (*Acaulospora koskei*) e EC (*Entrophospora colombiana*). (*) Valores de biomassa diferem estatisticamente do controle pelo teste de Dunnett ($P < 0,05$) com comparações feitas dentro do mesmo tipo de solo.

Quando excluídos os tratamentos fúngicos e analisados os solos separadamente, percebe-se que os solos afetaram o acúmulo de biomassa de maneira diferente para cada espécie (Tabela 3)

Tabela 3 - Valores de biomassa acumulada por tipos de solos, excluindo os tratamentos fúngicos. Cx – Cambissolo; Gx – Gleissolo. * significa diferenças estatísticas dentro de uma mesma espécie entre solos.

Espécies/Solos	Biomassa Aérea (g)		Biomassa de Radicular (g)	
	Cx	Gx	Cx	Gx
<i>A. glandulosa</i>	0,503	0,508	0,368	0,218 *
<i>S. terebinthifolius</i>	0,562	0,426 *	0,367	0,261
<i>A. edulis</i>	0,344 *	0,567	0,140 *	0,198

4.4.2. Responsividade Máxima da Planta (RMP)

A responsividade máxima das plantas variou de 11 a 160% e foi modulada pelo tipo de solo e tratamento de inoculação. A espécie mais responsiva foi *S. terebinthifolius*, tanto para Gx como para Cx, com respostas de 160% quando inoculadas com EC e 32% quando inoculadas com SH em relação ao controle. Em Gx o isolado de EC foi o que produziu a máxima resposta, independente da espécie de planta. Em Cx, o isolado de SH produziu as melhores respostas para *A. glandulosa* e *S. terebinthifolius*, ao passo que, *A. edulis* apresentou melhor resposta ao isolado GA (Figura 3).

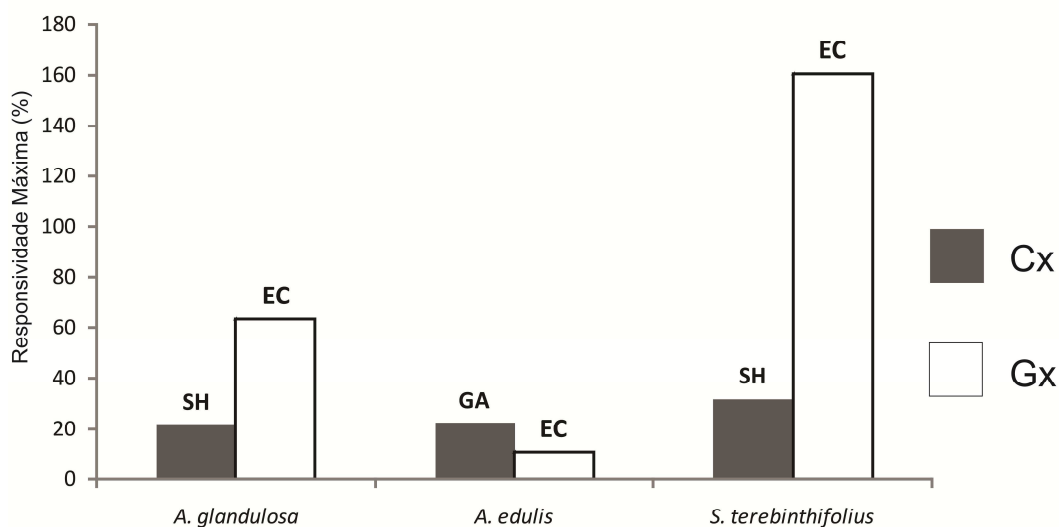


Figura 3 – Responsividade máxima da planta (RMP %) com as espécies de fungos *S. heterogama* (SH), *E. colombiana* (EC), *G. albida* (GA) nas duas classes de solos, Cambissolo (Cx) e Gleissolo (Gx).

4.4.3. Colonização Micorrízica

As plantas utilizadas no tratamento de controle não apresentaram colonização micorrízica. A colonização micorrízica apresentou grandes variações dentro dos tratamentos,

porém permaneceram em valores relativamente baixos para todas as espécies em todos os tratamentos. A porcentagem de colonização variou de 1,06% a 16,01% para *S. terebinthifolius*, de 4,6% a 9,3% para *A. edulis* e de 1,9% a 9,1% para *A. glandulosa*.

4.5. Discussão

Neste estudo ficou evidenciado que as classes de solos tiveram maior influência que o tratamento micorrízico na produção de biomassa das três espécies estudadas. Enquanto a produção de biomassa de *A. glandulosa* não foi significativo quanto ao tipo de solo, *S. terebinthifolius* produziu mais biomassa em Cx e *A. edulis* em Gx. O desenvolvimento das espécies neste estudo pode estar ligado às características químicas e físicas dos solos. Considerando os teores de argila e quantidade de P apresentados nas análises químicas, o fósforo presente em Gx foi de 9,1 mg/dm³ de solo sendo caracterizado como “bom”, já em Cx o valor de fósforo foi de 3,1 mg/dm³, sendo enquadrado como “baixo”, segundo Alvarez et al. (1999). Segundo Mosse (1973), em solos com deficiência de fósforo, plantas com micorrizas geralmente se desenvolvem melhor que plantas sem micorrizas. Este estudo confirma em partes esta suposição, já que para *S. terebinthifolius* apenas dois tratamentos com inoculação apresentaram valores significativamente diferentes entre Cx e Gx. Por outro lado, para *A. edulis* em gleissolo com fósforo classificado como “bom” a planta foi responsiva a micorrização, com isso podemos supor que *A. edulis* possivelmente seja mais dependente que outras espécies. Lima et al. (2008) em estudo sobre a inibição das micorrizas relacionadas ao aumento da concentração de fósforo no solo, descreve que a adubação com P aumentou a biomassa da parte aérea até a dose de 540 mg.dm³. Os valores de fósforo nos solos utilizados no presente estudo foram muito abaixo dos valores apresentados pelo autor.

Segundo Saggin-Júnior e Siqueira (1996), o fósforo torna-se um elemento fundamental no desenvolvimento de plantas, pois promove o incremento de massa aérea, se estiver altamente disponível. Quando os teores de fósforo disponíveis no solo ou no substrato utilizado ultrapassa 50 mg.kg⁻¹ de P, os efeitos positivos da colonização micorrízica decresce rapidamente, entretanto estes níveis variam de acordo com espécie de fungo utilizada no experimento (Saggin-Júnior e Siqueira, 1996).

É muito difícil determinar os efeitos diretos das variáveis ambientais sobre a colonização de fungos ou de crescimento através da porcentagem de colonização do sistema radicular, a menos que tenha sido constatado que não há nenhum efeito sobre o crescimento da raiz em si. Apesar disso, a porcentagem de colonização é um importante parâmetro a ser

utilizado na quantificação da colonização (Smith e Read, 1997). No estudo, as plantas analisadas tiveram baixa porcentagem de colonização micorrízica, o que pode estar relacionado ao pH dos solos utilizados que apresentaram valores de 3,4 e 3,8 para Gx e Cx, respectivamente, os quais são considerados solos muito ácidos. Segundo Moreira e Siqueira (2002), o pH do solo é um fator importante na ecologia e distribuição dos FMAs, visto que algumas espécies de FMAs são tolerantes ao baixo pH e condições de altos níveis de Al. Os mesmos autores destacam que a germinação dos esporos é inversamente proporcional ao percentual de saturação de Al no solo, que por sua vez é inversamente relacionada ao pH do solo. Lambais e Cardoso (1988) confirmam este fato, em experimento com avaliação da germinação de esporos e colonização micorrízica e observaram que a colonização micorrízica apresentou maior sensibilidade à variação da acidez do solo que a germinação dos esporos.

Assim, neste estudo a presença de Al em altos níveis (8,4 cmol/dm³ em Gx e 3,4 cmol/dm³ em Cx) pode estar ligada aos baixos valores de colonização, chamando a atenção principalmente por conta das espécies *S. terebinthifolius* e *A. glandulosa* que são espécies reconhecidas pelas respostas positivas a colonização micorrízica (Zangaro et al. 2002; Zangaro et al. 2003; Pasqualini et al. 2007; Souza et al. 2009). Os valores de pH do solo, quando abaixo de 5,5 já podem estar ligados a graves problemas de toxicidade por alumínio. Dentre estes problemas estão: diminuição do alongamento radicular, sensibilidade a produção de biomassa radicular, alterações na membrana das células da raiz, alterações na absorção de nutrientes e efeito sobre a simbiose rizóbio/leguminosa (Machado, 1997). O Al em altas concentrações além de tóxico também pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes. Os efeitos na planta podem se manifestar tanto na parte aérea como nas raízes, porém é mais comum nas raízes, afetando seu desenvolvimento, conseqüentemente diminuindo seu tamanho e ocupando uma superfície menor no solo, absorvendo assim menos água e nutriente (Sousa et al. 2007).

Um aspecto observado nas três espécies estudadas foi que o acúmulo de biomassa nas raízes foi menor que na parte aérea. Beutler et al. (2001), também constaram que para *Moringa oleifera* e *Anandenantha peregrina*, avaliando os níveis de toxidez por Al relacionado com a produção de matéria seca, onde houve a menor produção de matéria seca nas raízes em comparação com a parte aérea, o que segundo os autores indica que o efeito nocivo do Al age mais intensamente nas raízes e posteriormente diminuindo progressivamente a biomassa aérea.

Dentre os quatro isolados de FMAs utilizados neste estudo, três deles produziram uma responsividade máxima nas plantas. *E. colombiana* estimulou o desenvolvimento das três espécies de plantas utilizadas em Gx, já *S. heterogama* estimulou o crescimento em *A. glandulosa* e *A. edulis* em Cx, e *G. albida* teve maior responsividade para *S. terebinthifolius* em Gx. Pouyu-Rojas et al. (2006) em trabalho realizado com 16 espécies vegetais e 11 espécies de fungos, observaram que todos os fungos estimularam ao menos uma espécie de planta, deixando evidente que o benefício da simbiose micorrízica depende da combinação positiva entre fungo e planta. Outro fato de grande importância destacado pelo autor foi que *E. colombiana* foi uma das espécies que apresentou maior amplitude de eficiência simbiótica, resultado semelhante ao encontrado neste estudo. O mesmo autor ainda destaca a opção de uso de espécies vegetais mais promíscuas em relação aos fungos. Por exemplo, *S. terebinthifolius* impôs uma alta seletividade aos fungos testados por Pouyu-Rojas et al. (2006) e neste estudo a resposta máxima desta planta em relação ao isolado fúngico dependeu do tipo de solo. Estas informações são importantes do ponto de vista prático, pois pode diminuir suas chances de sobrevivência em áreas degradadas. Embora os isolados fúngicos utilizados neste experimento, pelos autores, foram diferentes dos utilizados neste estudo, estes resultados apontam que isolados de *E. colombiana* podem ser promissores quando trata-se de inoculação de espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas. Em Cx, os dois isolados que proporcionaram responsividade máxima para as plantas foram *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora albida* que pertencem a Família Gigasporaceae. Deve-se destacar o fato de que Cx tem uma maior quantidade de areia que Gx e segundo Koske e Polson (1984) os organismos desta família são de ocorrência comum em ambientes de dunas ou bastante arenosos.

Neste estudo foi testado a resposta de apenas três espécies de plantas em duas classes de solos com quatro isolados fúngicos. Estudos adicionais são necessários com outras plantas testando os mesmos isolados para que se possa identificar isolados fúngicos promissores para a inoculação em plantas arbóreas visando a recuperação de ambientes fluviais.

4.6. Conclusões

- a) Os resultados deste estudo e de outros sugerem que o isolado de *E. colombiana* é eficiente em estimular a produção de biomassa de espécies arbóreas e que podem ser usados na produção de inoculantes a serem aplicados em processos de revegetação de ambientes fluviais.
- b) Membros da família Gigasporaceae foram mais eficientes em promover o acúmulo de biomassa em Cx que possui maior quantidade de areia, sugerindo que as características edáficas de origem dos isolados fúngicos devem ser consideradas nos estudos de eficiência micorrízica.
- c) As características físicas e químicas dos solos devem ser levadas em consideração quando no estudo de desenvolvimento de espécies arbóreas.
- d) A responsividade máxima demonstrou que a espécie *S. terebinthifolius* foi a que apresentou maior responsividade em relação às outras espécies de plantas, enquanto que as duas espécies de FMAs estimularam as melhores respostas nas plantas foram *E. colombiana* e *S. heterogama*.

5. Fungos micorrízicos arbusculares na alocação de carboidratos solúveis e amido em plântulas de *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Luehea divaricata* Mart.

5.1.RESUMO

Os FMAs podem representar um dreno dos fotossintatos da parte aérea para a raiz das plantas, por isso o estudo desta associação e os efeitos nos níveis de carboidratos solúveis e amido podem ser importantes na recuperação de florestas fluviais, pois durante o processo de recuperação a combinação entre fungos e plantas pode intensificar o papel destas florestas como sumidouros de carbono. O objetivo deste trabalho foi realizar a quantificação de açúcares solúveis e amido em duas espécies arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Foram utilizadas duas espécies vegetais (*Schinus terebinthifolius* e *Luehea divaricata*) inoculadas com uma assembléia de FMAs contendo as espécies de fungos: *Scutellospora heterogama*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora koskei* e *Glomus intraradices* e sob o substrato de areia esterilizada em autoclave. Foram analisados parâmetros como a porcentagem de colonização micorrízica, quantificação de amido e açúcares solúveis aos 180 e 270 dias após a inoculação e todos analisados estatisticamente através do teste *t* de Student ($p < 0,05\%$). As quantidades de açúcares solúveis nas raízes de *S. terebinthifolius* aos 180 e 270 dias e na biomassa aérea aos 270 dias foram estatisticamente menores em no tratamento M em relação ao C. Para *L. divaricata*, os açúcares solúveis apresentaram poucas diferenças estatísticas entre os tratamentos M e C. A quantidade de amido em *S. terebinthifolius* e *L. divaricata* não apresentaram diferenças estatísticas nos tratamentos C e M para parte aérea e raiz nos dois períodos. O tratamento controle não apresentou colonização micorrízica. *S. terebinthifolius* teve uma colonização de 84 e 88% aos 180 e 270 dias ao passo que *L. divaricata* apresentou uma colonização de 80% aos 180 dias e 95% aos 270 dias. Em comparações com outros autores, os valores de colonização foram relativamente altos, porém não apresentaram benefícios para as plantas, pois o substrato com baixa fertilidade pode ter estimulado a colonização, mas não o desenvolvimento das plantas. Em alguns casos os valores de açúcares solúveis e amido tiveram uma diminuição no período de 180 para 270 dias, possivelmente acarretado pela queda das folhas. A suposição de que as raízes seria um dreno de açúcares, não foi confirmada, necessitando mais estudos em substratos compostos por solo, evitando uma possível interferência de fatores nutricionais.

Palavras-chave: Açúcares solúveis; Amido; Micorrizas

5.2.INTRODUÇÃO

Os microrganismos do solo têm sido considerados importantes fatores de sustentabilidade dos ecossistemas, pois facilitam a estrutura edáfica, contribuem para o controle biológico e controlam a disponibilidade de nutrientes às plantas (Tate e Klein, 1985; Souza e Silva, 1996) bem como podem ser importantes agentes na fixação de carbono no solo. As plantas por sua vez podem interagir simultaneamente com múltiplos organismos, os quais podem afetar positivamente e negativamente seu crescimento (Bennet e Bever, 2007) e a grande maioria têm a capacidade de estabelecer simbioses mutualísticas com microrganismos do solo que auxiliam na obtenção de nutrientes em solos com baixa fertilidade (Souza e Silva, 1996). A simbiose mais comum que ocorre entre plantas e microrganismos do solo é a formação das micorrizas arbusculares (Souza e Silva, 1996) estabelecida pelos fungos micorrizicos arbusculares (FMAs). Em nível de ecossistema, os FMA podem influenciar na competição entre plantas, pois existem diferentes graus de dependência micorrízica entre as mesmas, fazendo com que a absorção de água e nutrientes minerais pelas plantas seja aumentada, influenciando diretamente na composição de espécies nos ambientes (Zangaro e Andrade, 2002).

Os FMAs são adaptados a viver em associação mutualística, crescendo nas raízes das plantas e fornecendo nutrientes, geralmente fósforo e nitrogênio, em troca de carboidratos para o seu desenvolvimento (Smith, 2009). Os efeitos nutricionais das micorrizas nas plantas dependem da disponibilidade de nutrientes existentes no meio de crescimento, sendo mais acentuados em condições de deficiência, especialmente de P, o qual tem relação direta com o incremento em biomassa da planta (Siqueira et al., 2002). Os fungos são responsáveis por estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira e a biota do solo, resultando em geral no aumento da capacidade de estabelecimento, desenvolvimento e reprodução das plantas, assim como auxiliando na estruturação do solo (Souza e Silva, 1996).

Os FMAs são simbiontes obrigatórios e derivam da planta hospedeira todos os componentes para seu crescimento, diferenciação e esporulação (Siqueira et al. 1995; Jennings, 1995). As micorrizas são dependentes de carbono orgânico provenientes da fotossíntese, estima-se que de 4 a 20% dos fotossintatos são transferidos para os fungos e usados na produção de estruturas reprodutivas e vegetativas, na respiração, no crescimento, manutenção e absorção de nutrientes (Smith e Read, 1997). Nesse transporte, o carbono é transferido em forma de açúcares solúveis para os FMAs (Bago et al., 2000) os quais ainda podem ser considerados drenos de carbono atmosférico, devido as múltiplas

funções que os açúcares desempenham nas células, incluindo transporte, fornecimento de energia, regulação do potencial osmótico e expressão gênica. Sendo assim o metabolismo dos carboidratos solúveis representa um dos mais importantes processos no ciclo celular (Carrier et al., 1999). Muitos estudos mostram uma relação positiva entre as concentrações de carboidratos solúveis e a porcentagem de colonização micorrízica nas plantas (Pearson et al., 1994). Devido o potencial dos FMAs como drenos de carbono, o interesse no manejo deste carbono tem sido estimulado, pois é um aspecto fundamental da simbiose (Bago et al., 2000).

Apesar de inúmeros trabalhos demonstrando uma relação positiva entre a inoculação micorrízica e o crescimento de espécies arbóreas, ainda existe uma carência muito grande de informações relacionadas as quantidades de carboidratos solúveis presentes nas plantas inoculadas com FMAs. Considerando que os FMAs representam um dreno de fotossintatos da parte aérea para a raiz, o estudo desta associação e seus efeitos nos carboidratos solúveis em plantas arbóreas utilizadas para a recuperação de ambientes fluviais é importante. Isto porque durante o processo de revegetação a combinação de fungos e plantas que promovam o transporte de açúcar solúvel para a raiz pode ressaltar o papel das florestas fluviais em recuperação como sumidouros de carbono. O objetivo deste trabalho foi determinar a quantificação de açúcares solúveis, amido e porcentagem de colonização em duas espécies arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

5.3. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Regional de Blumenau (FURB) em casa de vegetação. No experimento, foram utilizadas as espécies arbóreas nativas da Floresta Ombrófila Densa do Vale do Itajaí, *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Luehea divaricata* Mart.

5.3.1. Espécies vegetais

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi. (família Anacardiaceae) é uma espécie classificada como pioneira, comum em margens de rios, córregos e várzeas úmidas de formações secundárias, crescendo também em solos pobres e com ampla disseminação por pássaros, o que explica sua boa regeneração natural (Lorenzi, 1998). A espécie *Luehea divaricata* Mart. (Família Malvaceae) é caracterizada como uma planta heliófita, frequente em florestas aluviais (floresta ciliar) e formações secundárias. Produz anualmente grande quantidade de sementes, em geral dispersadas pelo vento. Seu plantio é recomendado no

controle de vossorocas, replantio e enriquecimento de florestas ciliares (Lorenzi, 1998; Backer e Irgang, 2002).

5.3.2. Condições experimentais

As sementes foram pré-germinadas em tubetes com capacidade de 120 ml, em areia esterilizada (em autoclave a 121 °C durante 60 minutos) e replantadas em tubetes de 270 ml, sob o mesmo substrato, após atingida a uniformidade no crescimento de 10 cm de altura em média. No momento do replantio foram estabelecidos dois tratamentos para cada espécie de planta: a) Controle não inoculado (C); b) Inoculação com uma assembléia de FMAs (M). O inóculo micorrízico consistiu de uma assembléia de quatro espécies de fungos, obtidos na Coleção Internacional de Culturas de *Glomeromycota* (CICG) mantida na Universidade Regional de Blumenau, contendo: *Scutellospora heterogama*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora koskei* e *Glomus intraradices*. Para o tratamento com inoculação micorrízica foram utilizados cinco ml de inóculo em cada tubete. O experimento foi composto de duas espécies (*S. terebinthifolius* e *L. divaricata*) com dois tratamentos micorrízicos (Controle e Micorriza) e 28 repetições por tratamento. Aos 180 e 270 dias após o replantio, foram retirados aleatoriamente 14 indivíduos por tratamento, dos quais sete foram utilizados para análises de açúcares solúveis e amido e sete para quantificação da biomassa seca e porcentagem de colonização. Devido a baixa fertilidade do substrato foram aplicados, a cada três meses, fertilizações com solução nutritiva de Long-Ashton modificada com baixo teor de P para fornecer macro e micronutrientes.

5.3.3. Análise da biomassa

No momento da coleta, o diâmetro do caule e altura de parte aérea foram mensurados. Após, a parte aérea foi separada da raiz e colocada em estufa a 60°C durante 72 horas para secagem e posteriormente foi pesada para obter a biomassa seca da parte aérea. O comprimento de raiz foi mensurado utilizando-se uma régua.

5.3.4. Colonização micorrízica

Inicialmente para a avaliação a colonização micorrízica, foi necessário realizar a descoloração das raízes seguindo o método proposto por Koske e Gemma (1989). As raízes foram colocadas em beakers, imersas com KOH 10%, levando as amostras ao banho-maria a 90°C durante 50 minutos. Após, as raízes foram lavadas e clareadas com H₂O₂ Alcalina

durante cinco minutos e lavadas. As amostras foram cobertas com HCl 1% deixando descansar por 10 minutos. Após o descarte do HCl 1% as amostras foram cobertas com Azul de tripano (0,05%) e levadas ao banho-maria por 50 minutos e após este tempo foram lavadas abundantemente. A quantificação da porcentagem de colonização micorrízica foi realizada através do método da placa quadriculada (Giovanetti & Mosse, 1980).

5.3.5. Açúcares solúveis e amido

Em cada coleta foram realizadas análises para a quantificação dos açúcares solúveis totais e amido de acordo com técnica descrita por Dubois et al. (1956). Para a quantificação dos açúcares solúveis totais, as plantas foram coletadas aleatoriamente e pesada e pesadas a massa fresca de todo o indivíduos. Posteriormente, foram maceradas e colocadas em tubos de falcon, acrescentando 10 mL de álcool (80%) em todos os tubos. Os tubos foram levados para banho maria a 100°C por 5 minutos em seguida levados para a centrífuga a 3000 rpm por 10 minutos, repetindo o processo três vezes. Após a centrifugação, o material sólido foi deixado no fundo e o líquido levado para filtragem com microfibras de vidro, completando a quantidade de líquido filtrado com álcool 80%, até atingir o volume de 10 mL armazenando as amostras líquidas em tubos de Falcon.

Para a extração do amido (açúcares solúveis de reserva) utilizou-se o material restante da dosagem dos açúcares solúveis totais. Acrescentou-se, 1 mL de água deionizada gelada e 1,3 mL de ácido perclórico 52% deixando durante 15 minutos. Após este período, foi acrescentado 2 mL de água deionizada e centrifugado a 1500 rpm por 15 minutos. Ao retirar da centrífuga, o material foi filtrado em microfibras de vidro. No resíduo sólido do tubo de Falcon, acrescentou-se 0,5 mL de água deionizada gelada e 0,65 mL de ácido perclórico 52% e mantido durante 15 minutos, centrifugando novamente a 1500 rpm por 15 minutos. O material líquido resultante foi filtrado novamente e completado com 10 mL de água deionizada. Para as leituras em espectrofotômetro, foram estipuladas as quantidades de 10 µL de amostra completando com 450 µL de água deionizada, totalizando 500 µL. Às amostras, foram acrescentadas 0,5 mL de Fenol e 2,5 mL de Ácido Sulfúrico, para a posterior leitura em espectrofotômetro a 490 nm.

5.3.6. Análises de dados e estatística

Todos os parâmetros analisados (biomassa seca, diâmetro, comprimento, açúcares solúveis, amido e porcentagem de colonização micorrízica) foram analisados através do teste *t*

de Student ($p < 0,05$). Os valores de porcentagem de colonização micorrízica foram transformados em arco-seno da raiz quadrada e posteriormente analisados através de teste *t*. As comparações ocorreram entre os tratamentos de Controle (C) e Micorriza (M) dentro da mesma espécie. A porcentagem de colonização micorrízica foi comparada estatisticamente através da aplicação do teste *t* entre os períodos de 180 de 270 dias.

5.4. Resultados

5.4.1. Açúcares Solúveis e Amido

Para *S. terebinthifolius* os teores de açúcares solúveis na raiz aos 180 e 270 dias e na biomassa aérea aos 270 dias foram estatisticamente menores em plantas M comparativamente ao tratamento C. Em *L. divaricata*, de maneira geral, não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos M e C para açúcares solúveis (Tabela 4). Os valores de amido para *S. terebinthifolius* e *L. divaricata* não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos C e M para parte aérea nem para raiz em ambos os períodos de coleta (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios de açúcares solúveis e amido expressos em mg/g de massa fresca expressos em mg/g de massa fresca (mg/g de MF) presentes nas plantas de *S. terebinthifolius* e *L. divaricata*. * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C. Os tratamentos fúngico são representados com [C], Controle e [M] Micorrizados.

		Açúcares Solúveis (mg/g de MF)				Amido (mg/g de MF)			
		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>L. divaricata</i>		<i>S. terebinthifolius</i>		<i>L. divaricata</i>	
		Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz
180 dias	[C]	10,21	5,29	29,41	40,59	10,56	10,23	16,96	11,63
	[M]	12,72 *	2,79 *	28,72	22,96	6,80	7,12	10,29	6,87
270 dias	[C]	17,16	15,72	19,69	12,55	4,32	1,92	5,29	2,74
	[M]	11,72 *	8,96 *	19,17	7,39 *	4,28	1,56	5,44	2,88

5.4.2. Diâmetro, comprimento, biomassa seca e porcentagem de colonização

Não houve diferenças estatísticas entre plantas dos tratamentos C e M de *L. divaricata* e *S. terebinthifolius* em relação ao diâmetro do caule e biomassa seca, com exceção aos 270 dias, em que plantas de *S. terebinthifolius* no tratamento M diferiram das plantas com tratamento C. O comprimento de raiz para ambas as plantas não foi afetado pelos tratamentos de inoculação aos 180 dias. Após 270 dias, o comprimento de raiz de *L. divaricata* foi estatisticamente menor em plantas M enquanto que para *S. terebinthifolius* este padrão foi inverso (Tabela 5).

Tabela 5 – Média de diâmetro (cm), comprimento da parte aérea (cm), raiz (cm), comprimento total (cm) e peso seco (g), onde * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C, comparadas somente entre os mesmos períodos.

Período	Espécies	Diâmetro (cm)	Comprimento			Peso seco (g)
			Aérea (cm)	Raiz (cm)	Total (cm)	
180 dias	<i>L. divaricata</i> [C]	0,18	10,81	23,21	34,03	0,158
	<i>L. divaricata</i> [M]	0,19	9,07*	23,64	32,71	0,163
270 dias	<i>L. divaricata</i> [C]	0,27	15,93	31,07	47,00	0,320
	<i>L. divaricata</i> [M]	0,25	16,21	23,07*	39,29	0,277
180 dias	<i>S. terebinthifolius</i> [C]	0,23	21,77	27,06	48,83	0,430
	<i>S. terebinthifolius</i> [M]	0,22	22,21	26,36	48,57	0,401
270 dias	<i>S. terebinthifolius</i> [C]	0,31	31,19	24,71	55,90	0,433
	<i>S. terebinthifolius</i> [M]	0,27*	26,19	30,50*	56,69	0,309*

As plantas do tratamento controle não apresentaram evidência de colonização micorrízica. As porcentagens de colonização micorrízica das espécies estudadas apresentaram valores relativamente altos para ambas as espécies. Para *S. terebinthifolius* a colonização micorrízica foi de 84% e 88%, após 180 e 270 dias, respectivamente e não houve diferenças estatísticas. Para *L. divaricata* a colonização aumentou significativamente de 80% aos 180 dias para 95% aos 270 dias (Figura 4).

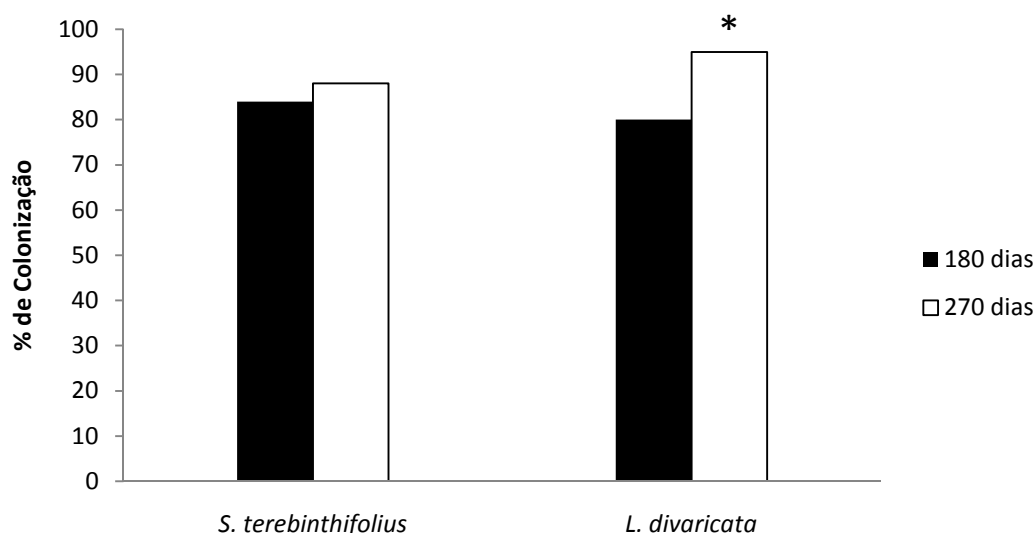


Figura 4 – Porcentagem de colonização micorrízica aos 180 e 270 dias, para as espécies *S. terebinthifolius* e *L. divaricata* no tratamento micorrizado [M]. * Diferença significativa dentro da mesma espécie.

5.5. Discussão

A colonização das espécies, tanto *S. terebinthifolius* como *L. divaricata* foram bastante elevados, chegando aos 270 dias com 88 e 95%, respectivamente. Souza et al. (2009) também

encontraram resultados de colonização muito próximos, chegando a 99,6% para *S. terebinthifolius*, porém o autor destaca que apesar da alta colonização não houveram benefícios para as plantas, possivelmente pela grande quantidade de nutrientes nos substratos utilizados no experimento. Pouyu-Rojas e Siqueira (2000) demonstraram que *Luehea grandiflora* apresentou altos valores de colonização micorrízica para inoculação após o transplante, chegando a aproximadamente 80%. Neste estudo o inóculo utilizado e o substrato pobre em nutrientes foram possivelmente fatores que levaram aos altos níveis de colonização micorrízica.

De maneira geral, a biomassa das duas espécies de plantas estudadas não foi influenciada pela inoculação micorrízica, contrariando resultados obtidos por alguns autores. Carneiro et al. (1996) em experimento utilizando *L. divaricata* e *S. terebinthifolius*, aplicando ao substrato separadamente, micorriza, fósforo ou micorriza e fósforo, observaram que *L. divaricata* respondeu à inoculação com FMA, aumentando sua massa seca em 30.500% comparado ao controle, com a adição de fósforo e micorrizas, enquanto que *S. terebinthifolius* aumentou sua massa seca em 7.850% sob as mesmas condições. Os autores classificaram ambas as espécies como altamente responsivas a micorrização. O mesmo autor destaca que *L. divaricata* produziu pouca raiz no tratamento controle, por isso o autor afirma que estas espécies teriam seu crescimento e sua sobrevivência limitada em solo de baixa fertilidade.

Neste experimento o substrato utilizado foi areia estéril, o que poderia desfavorecer o desenvolvimento das plantas visto a baixa disponibilidade de nutrientes. Assim, foi realizada a fertilização com uma solução Long-Ashton de baixo teor de P nas mudas. Segundo Meurer (2007) substratos com granulometria mais grossas, como areia, apesar de facilitarem a drenagem e aeração do solo, não retém água e nutrientes para as plantas por tempo suficiente, devido ausência de cargas. Por isso é importante os compostos orgânicos no solo, pois realizam ligações entre partículas formando os agregados, que influenciam na aeração, permeabilidade e fertilidade dos solos, sendo a principal fonte de nutriente para as plantas, pois geram cargas negativas aumentando a CTC do solo (Novais et al., 2007).

Uma das possíveis causas para que a inoculação não tenha aumentado a biomassa das espécies hospedeiras relativamente ao controle é a baixa fertilidade do substrato. O substrato composto por areia e com baixos níveis de nutrientes estimulou a colonização dos fungos nas raízes, explicando a alta colonização, porém esta mesma falta de nutrientes no substrato impediu a absorção e transporte destes para as plantas através dos FMAs e que poderia refletir no aumento de biomassa. Os FMAs por sua vez, podem ter passado a funcionar como uma

dreno de nutrientes e carboidratos proveniente da planta que são indispensáveis para o estabelecimento e desenvolvimento da colonização junto às raízes. Os baixos níveis de fósforo também podem estar ligados a resposta das plantas, visto que é um nutriente indispensável para o desenvolvimento das plantas e a aplicação em baixos teores em um solo pobre também pode ter estimulado o desenvolvimento dos FMAs. Moreira e Siqueira (2002) corroboram com a idéia de que em condições de fertilidade elevada os FMAs são geralmente inibidos e favorecidos por condições de baixa fertilidade. Em solos com alta deficiência nutricional, principalmente de P, a aplicação de pequenas doses pode favorecer a colonização e esporulação.

Os níveis de açúcares solúveis e amido em alguns casos apresentaram uma diminuição nos período de 180 a 270 dias. Para *S. terebinthifolius* e *L. divaricata* os níveis de amido na parte aérea e raiz, diminuiram consideravelmente entre o período de 180 e 270 dias. Já os açúcares solúveis somente *L. divaricata* apresentou uma diminuição considerável nos valores para o mesmo período, tanto para raiz como para parte aérea. De acordo com as observações, este fato pode estar ligado a queda de muitas folhas das duas espécies próximo aos 270 dias, no mês de Julho, principalmente para *S. terebinthifolius*. Visto que os açúcares são responsáveis por diversas funções no ciclo celular das plantas incluindo transporte e fornecimento de energia (Carrier et al., 1999), Dickson (1991) e Trevisan et al. (2003) atestam que a perda das folhas em plantas lenhosas pode causar stress, consequentemente interferindo no acúmulo e nas reservas de carboidratos na planta. Em *L. divaricata* notou-se a diminuição do comprimento de raiz para o tratamento M, dos 180 aos 270 dias. Segundo Larcher (2006), assim que o carbono é absorvido, nas reações primárias este é convertido em carboidratos, substâncias de maior valor energético e importante fonte de energia para os FMAs. Para Durall et al. (2006) o rápido crescimento das raízes pode consumir uma grande quantidade de carbono fixado pelas plantas, porém alguns casos demonstram que com a infecção micorrízica o crescimento da raiz diminui devido as grandes quantidade de carbono desviadas para o desenvolvimento das micorrizas ao invés de estruturas da raiz. Smith (2009) afirma que este desvio de carbono das raízes pode ser parte integrante do metabolismo das micorrizas durante a colonização.

A premissa assumida neste estudo de que a colonização radicular por FMAs acompanharia um maior dreno de açúcares solúveis para as raízes não foi para as espécies *S. terebinthifolius* e *L. divaricata*. No entanto, sugere-se que estudos adicionais sejam

conduzidos em substrato composto por solo para que não haja uma possível interferência de fatores nutricionais nos resultados

5.6. Conclusões

- Substrato arenoso é favoráveis a colonização e ao crescimento fúngico dentro do córtex radicular;
- Elevados níveis de colonização resultantes de uma assembléia de FMAs não refletem em maiores quantidades de açúcares solúveis para as raízes nas duas espécies estudadas;

6. Estabelecimento a campo e efeitos da inoculação micorrízica em *Inga edulis* Mart. e *Citharexylum myrianthum* Cham. em duas formações pedológicas, Gleissolo e Depósito Psamo - Pelítico.

6.1.RESUMO

Na busca por soluções para a minimização dos problemas ligados à depreciação das florestas ciliares, projetos de recuperação que foquem as relações ecológicas envolvidas neste processo são fundamentais para o sucesso da recuperação. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação micorrízica, sobrevivência e desenvolvimento a campo de duas espécies arbóreas sob duas condições pedológicas distintas. O experimento foi realizado em duas áreas ao longo do Rio Itajaí-açu, nos municípios de Gaspar/SC e Navegantes/SC, sobre duas condições pedológicas distintas, Gleissolo e Depósito Psamo-pelítico, respectivamente, através do plantio de duas espécies arbóreas nativas *Inga edulis* e *Citharexylum myrianthum*. O plantio foi realizado no formato de quincôncios, os quais continham a mesma espécie no mesmo tratamento (C e M) e com distribuição aleatória nas áreas, com o mesmo delineamento nos dois locais. As médias foram analisadas através de ANOVA ($p > 0,05$), para identificar diferenças estatísticas aplicando o teste de Tukey para a separação das médias. O teste *t* de Student foi usado para verificar as diferenças entre os tratamentos C e M. Através dos dados de diâmetro e altura, estes foram aplicados a equações alométricas, para estimar a biomassa aérea dos indivíduos e a quantidade de carbono fixado nas duas espécies. A sobrevivência foi avaliada no primeiro mês e de maneira geral as plantas inoculadas com FMAs apresentaram maior sobrevivência que plantas do controle. O desenvolvimento das espécies não foi afetado pelos tratamentos C e M no primeiro ano de avaliação. Considerando que os incrementos em diâmetro e altura nas duas áreas foram muito superiores no período de Setembro a Janeiro, podemos sugerir que a melhor época para a realização do plantio a campo é o início do mês de Setembro. *C. myrianthum* teve os maiores acúmulos de biomassa total, em todos os períodos, nas duas áreas em relação ao *I. edulis*, fazendo da espécie *C. myrianthum* uma importante aliada no processo de recuperação. Portanto, ainda deve ser realizado um maior período de acompanhamento, além de novos estudos com espécies distintas e em formações pedológicas diferentes a fim de avaliar seu desenvolvimento ao longo dos solos no Rio Itajaí-açu.

Palavras-Chave: Recuperação de florestas fluviais; Biomassa aérea; Micorrizas

6.2.Introdução

Ao longo dos séculos, o desenvolvimento do ser humano tem mudado drasticamente as estruturas e funcionalidades dos ecossistemas por todo o Planeta (Reis et al., 2010). Estas intervenções no meio ambiente vêm causando reduções críticas na produtividade dos solos, na biodiversidade e nas funções ambientais dos ecossistemas, o que conseqüentemente transcendem as áreas afetadas, afetando não somente o ambiente, mas também o homem (OPA, 2007). As florestas têm sido um dos ecossistemas mais fortemente atingidos, tanto pelo uso dos seus recursos naturais, como pelo aumento demográfico (OPA, 2007). No vale do Itajaí em Santa Catarina, a situação não é diferente, visto que seus ambientes encontram-se amplamente alterados, com o comprometimento, quase que na totalidade de suas florestas ao longo dos rios (Curcio et al., 2006). Segundo Botelho e Davide (2002), estas florestas podem receber as denominações de matas ciliares, ripárias, ribeirinhas ou de galeria. Devido a diversidade de ambientes e a complexidade dos fatores que influenciam na definição fisionômica e florística das florestas, é necessário utilizar uma nomenclatura com a utilização de termos que descrevam o tipo de vegetação. Sendo assim, os mesmo autores afirmam que o nome “mata ciliar” não é suficiente para distinguir estas características, por esse motivo, no presente estudo esta será tratada como floresta ciliar.

Alvarenga (2004), caracteriza a floresta ciliar como sendo as formações florestais localizadas às margens de rios, lagos, nascentes e demais cursos e reservatórios de água. Uma grande mudança ocorreu com a criação do Código Florestal (Lei 4771, de 15 de Setembro de 1965), onde estabeleceu a área ciliar como área de preservação permanente (APP), não podendo sofrer alteração e com a obrigatoriedade de mantê-la em sua condição original (Kageyama & Gandara, 2000). Porém, apesar da importância ambiental e mesmo sendo áreas de preservação permanente protegidas por lei, estas áreas continuam sendo removidas em várias partes do Brasil (Alvarenga, 2004). Diversos autores discutem amplamente a relevância das vegetações ciliares e seu papel como áreas provedoras de alimento e água para diferentes espécies da fauna, além de permitir, devido sua alta complexidade estrutural, a manutenção de altos níveis de diversidade biológica (Marinho-Filho & Gastald, 2000). Lima e Zakia (2000), adicionam às principais funcionalidades destas florestas, a função hidrológica de manutenção das bacias, estabilidade de processos erosivos além da manutenção da qualidade e quantidade de água.

Nestas áreas, os fatores físicos do solo são determinados diretamente pelo comportamento hidrológico local, os quais são determinantes para a distribuição e

composição de espécies florestais (Rodrigues e Shepherd, 2000). A dinâmica da água no solo atua na definição das características edáficas e vegetacionais na floresta ciliar, porém existem outros fatores que são atuantes nestas condições, tais como características geológicas e geomorfológicas e o próprio extravasamento do rio (Davis, 1973 apud Rodrigues, 1992; Rodrigues e Shepherd, 2000). A intensa degradação, à revelia da lei, tem incentivado algumas iniciativas de restauração das florestas ciliares nas últimas décadas, com o objetivo de proteger reservatórios de abastecimento público, geração de energia ou áreas mineradas, sendo poucos os casos que se propõem a restauração de florestas ciliares fundamentada nas questões ecológicas (Rodrigues e Nave, 2000). Sendo assim, a utilização de espécies micorrizadas na recuperação é uma prática que vem sendo adotada em diversos trabalhos, devido a resposta positiva de diferentes espécies a campo, com a possibilidade de testá-las sob diferentes condições pedológicas em diversos ambientes (Balota e Lopes, 1996; Carrenho et al., 2001; Zangaro et al., 2002; Caproni et al., 2005; Vandresen et al., 2007).

Portanto, para o sucesso no processo de recuperação, dois elementos necessitam ser analisados, o ambiente edáfico e as espécies arbóreas selecionadas (Carneiro et al., 1996). Dentre os inúmeros microrganismos existentes na biota do solo, os FMAs são bastante representativos em regiões tropicais com solos de baixa fertilidade (Souza & Silva, 1996; Schussler et al., 2001). Os FMAs têm importante papel na ciclagem de nutrientes das florestas e estão intimamente ligados ao estado vegetativo das plantas em que estão associados (Carrenho et al., 2001). Além disso, estes fungos têm importante papel no aumento de crescimento em plantas e agregação do solo (Abbott e Gazey, 1994). A associação entre FMAs e plantas pode ser caracterizada como um mecanismo bi-direcional de transferência de nutrientes entre a planta e o fungo, onde a planta fornece açúcares aos fungos e estes auxiliam na obtenção de nutrientes dos solos (Smith & Barker, 2002; Zandavalli et al., 2004).

Na busca de soluções para a minimização dos problemas relacionados à depreciação destes ambientes ciliares, os projetos de restauração florestal têm focado principalmente a floresta ciliar, visto a sua importância dentro da bacia hidrográfica (Gandolfi e Rodrigues, 2007). Devido a falta de projetos que relacionem as questões ecológica envolvidas no processo de recuperação, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de duas espécies arbóreas com fungos micorrízicos arbusculares na sua sobrevivência e crescimento destas, a campo sob duas condições pedológicas distintas e avaliar o crescimento em altura e diâmetro de espécies arbóreas nativas plantadas em ambiente fluvial.

6.3. Material e métodos

O experimento foi conduzido em duas áreas localizadas nos municípios de Gaspar/SC e Navegantes/SC, sobre duas tipologias pedológicas distintas, Gleissolo e Depósito Psamo-pelítico (Figura 5), respectivamente, através do uso de duas espécies florestais nativas da floresta ombrófila densa, *Inga edulis* Mart. e *Citharexylum myrianthum* Cham.

Com relação a distribuição dos solos na paisagem do rio Itajaí-açu, Curcio et al. (2006) afirmam que a melhor maneira para isso é através da compartimentação desta paisagem. Sendo assim, para o rio Itajaí-açu os autores descrevem a compartimentação com características distintas no trecho de Gaspar-Ilhota e Ilhota-Navegantes. No primeiro trecho o rio apresenta menor declividade e em curvas de agradação a ocorrência de Depósito Psamo-Pelítico, como descrito na área de estudo em Gaspar. Já para o segundo compartimento o autor descreve uma grande constituição de Gleissolos neste trecho, como descrito na área de estudo no município de Navegantes.

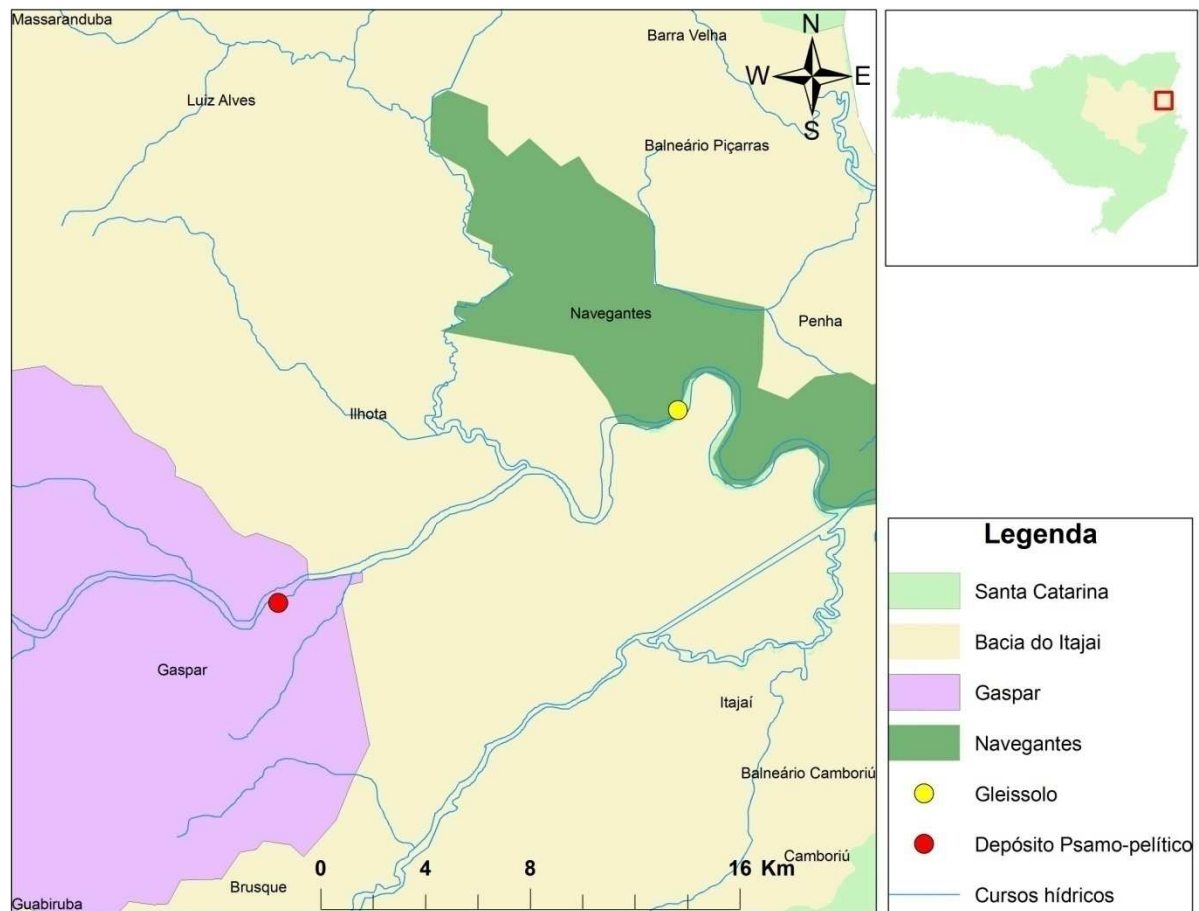


Figura 5 – Localizações geográficas das áreas de plantio nos municípios de Gaspar e Navegantes e os respectivos tipos de solos em cada área.

6.3.1. Espécies de plantas

A espécie *Inga edulis* Mart. (Família Fabaceae), conhecida regionalmente por ingá-banana, é uma planta semidecídua, heliófita e seletiva higrófito, caracterizada como pioneira. Sua ocorrência natural é principalmente em capoeiras localizadas sobre solos de baixadas que se alagam com facilidade. É uma planta que produz grande quantidade de sementes viáveis durante o ano (Rodrigues e Shepherd, 2000). A espécie *Citharexylum myrianthum* Cham. (Família Verbenaceae) é popularmente conhecida como tucaneira, ocorre naturalmente desde a Bahia até o Rio Grande do Sul na floresta pluvial. É uma planta decídua, heliófita, seletiva higrófito e muito encontrada em vegetações ciliares. Ocorre em terrenos muito úmidos com ótima regeneração natural em vegetações secundárias. Produz grande quantidade de frutos anualmente, cujas sementes são amplamente dispersadas pela avifauna (Lorenzi, 1998).

6.3.2. Solos

Nas duas áreas destinadas ao plantio foram identificados dois tipos de solos. No município de Gaspar/SC, o solo foi caracterizado como Depósito Psamo-pelítico, que são caracterizados como solos recentes de desenvolvimento incipiente e que ocorre em porções meandantes dos rios sendo formados por estratos de areia e argila intercalados, sem a presença de Horizonte A (Barddal, 2006; Stano, 2007). Para o município de Navegantes o solo foi identificado como Gleissolo, que são compreendidos como solos hidromórficos com horizonte Glei dentro de 150 cm de profundidade. Encontram-se permanentemente ou periodicamente saturados por água e são caracterizados pela alta gleização existente, devido o ambiente redutor, o que implica na manifestação de pontos com cores acinzentadas devido a redução e solubilização do Fe (Embrapa, 2006). Amostras dos solos foram coletadas nas áreas de estudo (n=10) de forma aleatória e encaminhada para análises junto a EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) com os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Atributos físicos, químicos e granulométricos dos solos utilizados no experimento.

Características Químicas e Físicas		Gleissolo	Depósito
% Argila (m/v)		9,00	13,50
pH - Água 1:1		3,47	4,71
Índice SMP		5,62	6,10
P (mg/dm ³)		12,17	15,56
K (mg/dm ³)		79,40	150,00
% Matéria Orgânica (m/v)		0,91	1,86
Al (Cmolc/dm ³)		2,60	0,94
Ca (Cmolc/dm ³)		1,32	2,66
Mg (cmolc/dm ³)		0,84	1,61
H + Al (Cmol/dm ³)		7,39	3,94
CTC pH 7.0 (Cmol/dm ³)		9,75	8,61
% Saturação CTC	Bases	23,34	54,42
	Al	55,36	16,72
	Ca/Mg	1,53	1,86
Relações	Ca/K	7,48	8,63
	Mg/K	4,74	5,46
Carbono (%)		0,53	1,08

6.3.3. Delineamento experimental

As sementes de *I. edulis* e *C. myrianthum* foram coletadas e semeadas em areia esterilizada em autoclave a 120°C durante 60 minutos e mantidas em casa de vegetação. Quando as plântulas estavam com aproximadamente 10 cm de altura, estas foram transplantados para tubetes de 120 cm³ também em areia esterilizada, onde neste momento houve o estabelecimento dos seguintes tratamentos: 1) inoculação com uma assembléia de FMAs (M); 2) não inoculado (C). O inóculo consistiu de uma mistura dos seguintes fungos: *Scutellospora heterogama*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora koskei* e *Glomus intraradices*. As plantas foram mantidas em casa de vegetação por mais 150 dias após a inoculação antes de serem levadas para campo. Anteriormente ao plantio foram selecionados 6 indivíduos de cada espécie do tratamento micorrizado e foi mensurado a porcentagem de colonização micorrízicas destes indivíduos.

O plantio foi realizado no formato de quincôncios de uma mesma espécie com os respectivos tratamentos (C e M) e distribuídos aleatoriamente em cada uma das áreas, sendo o mesmo delineamento repetido nas duas áreas (Figura 6). Foram plantados um total de 240 indivíduos, sendo 120 de *C. myrianthum* e 120 de *I. edulis*, onde 60 indivíduos pertencem ao controle e 60 indivíduos ao tratamento micorrizado.

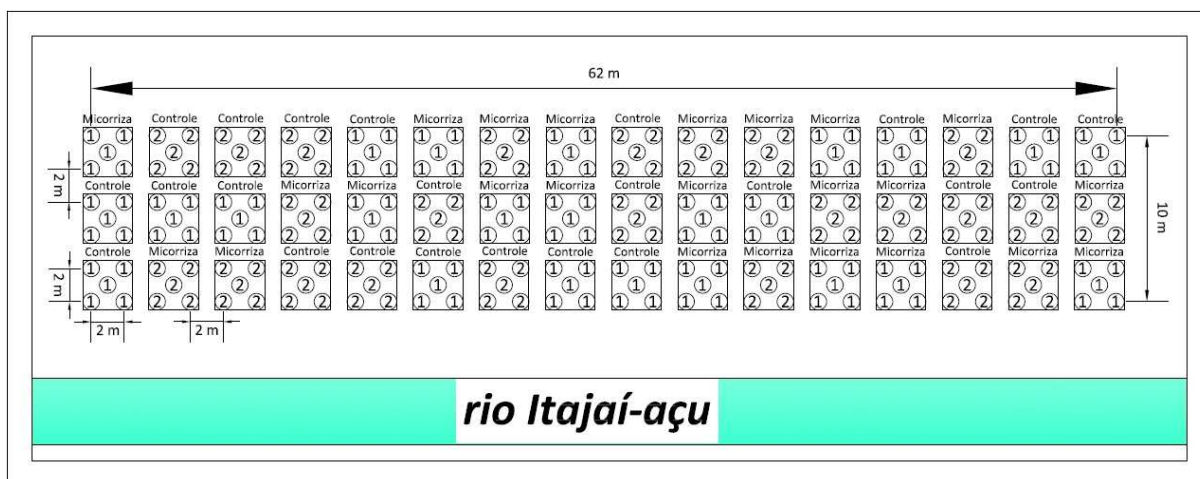


Figura 6 – Croqui do delineamento experimental do plantio onde as espécies *I. edulis* - 1 e *C. myrianthum* - 2 estão aleatoriamente distribuídas nas áreas.

6.3.4. Acompanhamento

O acompanhamento das áreas foi realizado através das mensurações trimestrais de diâmetro e altura de todos os indivíduos, no período de Março de 2010 a Janeiro de 2011. O diâmetro foi mensurado no colo das plantas rente ao solo e a altura foi medida do solo até a folha mais alta do indivíduo.

6.3.5. Estimativa de carbono na biomassa aérea

A estimativa de carbono na biomassa aérea foi realizada através de método indireto (não destrutivo) onde os valores de diâmetro e altura foram aplicados a equação alométrica proposta por Brown et al., (1989).

$$B = \text{Exp}(-3,3012 + 0,9439 \ln (\text{DAP}^2 \times H))$$

onde:

B = Biomassa (kg)

DAP = Diâmetro altura do peito (cm)

H = Altura total (m)

O carbono foi calculado com base em diferentes literaturas que partem dos pressupostos de que aproximadamente 40% da constituição das plantas são compostas por carbono, sendo assim o resultado da biomassa total (Kg) foi multiplicado por 0,4, resultando nos valores de carbono.

6.3.6. Análises estatísticas e análise de dados

As análises das médias foram realizadas através de ANOVA ($p > 0,05$), a fim de identificar diferenças estatísticas e posteriormente aplicado o teste de Tukey para a separação das médias. O teste t de Student foi usado para verificar as diferenças entre os tratamentos C e M.

6.4. Resultados

6.4.1. Sobrevivência

A sobrevivência dos indivíduos foi avaliada somente no primeiro mês de avaliações, devido as grandes interferências que podem ocorrer com o passar do tempo dentro da área. De maneira geral as plantas inoculadas apresentaram uma sobrevivência maior, quando comparadas às plantas não inoculadas (Figura 7).

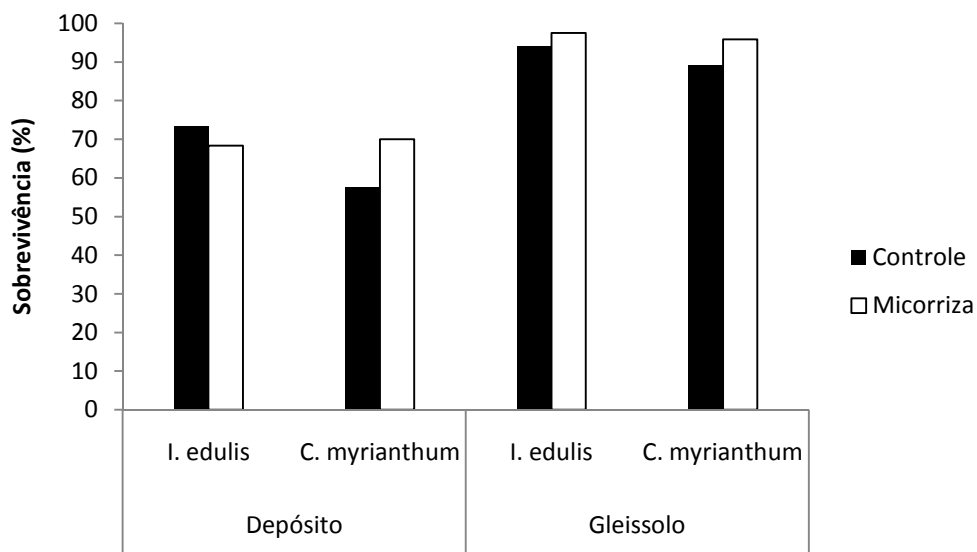


Figura 7 – Porcentagem de sobrevivência das espécies em suas respectivas áreas e tratamentos.

6.4.2. Depósito Psamo-Pelítico

Ambas as espécies apresentaram aumento em seu desenvolvimento tanto em diâmetro quanto em altura nos dois tratamentos (C e M) em relação ao período inicial de avaliação. *C. myrianthum* não apresentou diferenciação entre controle e micorriza no diâmetro para nenhum dos meses (Figura 8A). A altura de *C. myrianthum* demonstrou diferenças estatísticas entre controle e micorriza para o mês de Março, onde a média dos indivíduos M foi superior ao C, repetindo-se o fato no mês subsequente, porém sem diferenças estatísticas (Figura 8B). Os valores de diâmetro para *I. edulis* demonstraram diferenças estatísticas entre os tratamentos

somente para os meses de Junho e Setembro, porém em todos os períodos as médias dos indivíduos C foram superiores as médias dos indivíduos de M (Figura 8C) enquanto que em altura, não houveram diferenças estatísticas entre os tratamento para nenhum dos períodos analisados (Figura 8D).

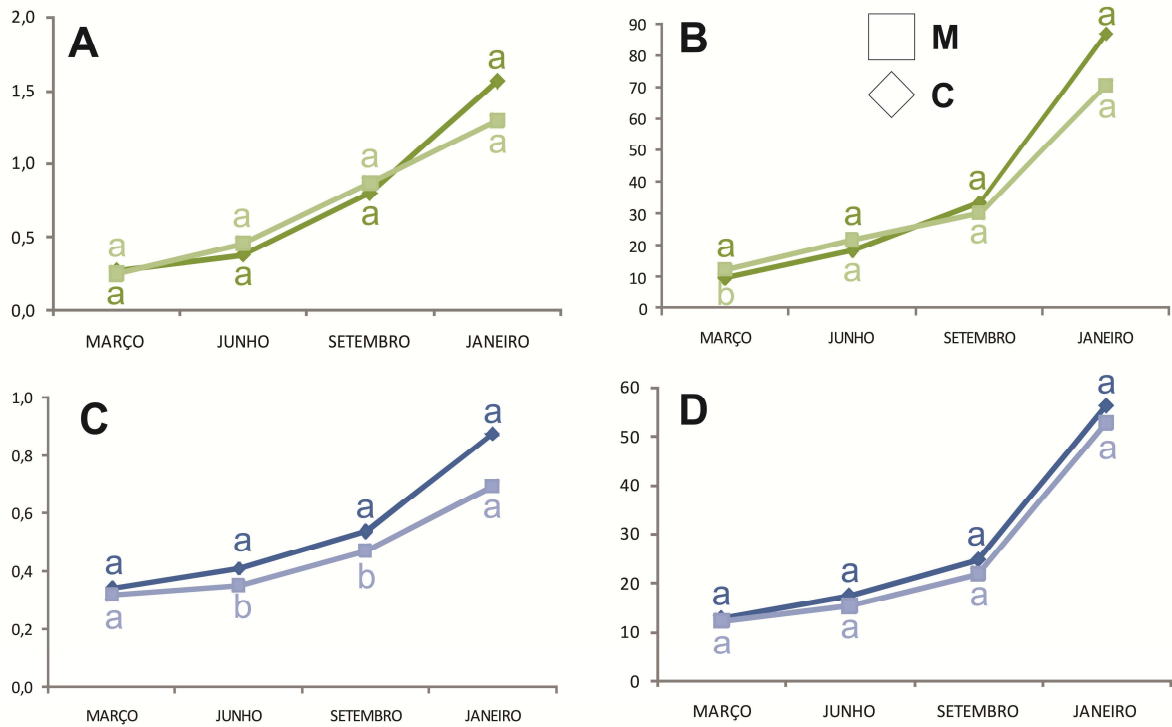


Figura 8 – Gráficos de crescimento de *Inga edulis* e *Citharexylum myrianthum* em Depósito psamo-pelítico ao longo de 10 meses de avaliações. A – Diâmetro (cm) de *C. myrianthum*; B – Altura (cm) de *C. myrianthum*; C – Diâmetro (cm) de *I. edulis*; D – Altura (cm) de *I. edulis*. [C] Controle; [M] Micorrizado. Letras diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos C e M no mesmo período.

O incremento mensal de diâmetro e altura para *I. edulis* foi maior no período de Setembro a Janeiro em comparação aos outros períodos, sendo que o C obteve maior incremento comparado ao M. O incremento em diâmetro e altura para o controle foi de 0,34 cm (Figura 9A) e 31,43 cm (Figura 9B), respectivamente. Enquanto que para o tratamento micorrizado os valores de diâmetro e altura foram de 0,22 cm e 30,72 cm, respectivamente. A espécie *C. myrianthum* também teve superioridade de incremento nos tratamentos de controle, tanto para diâmetro como para altura, com 0,76 cm e 53,16 cm, respectivamente, ao passo que o tratamento micorrizado teve os valores de 0,43 cm de diâmetro e 40,20 cm de altura.

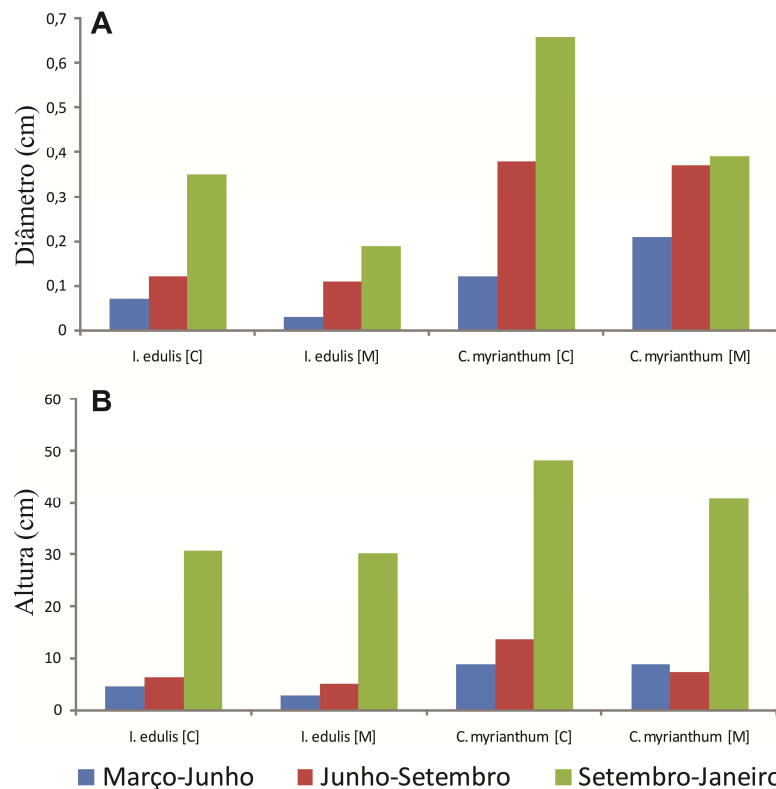


Figura 9 - Incremento mensal em Depósito Psamo-Pelítico de diâmetro (A) e altura (B) de *I. edulis* e *C. myrianthum* nos tratamentos C (controle) e M (micorriza).

6.4.3. Gleissolo

C. myrianthum apresentou diferenças estatísticas em diâmetro entre os tratamentos de controle e micorriza, somente para o mês de Março, enquanto que os outros períodos não demonstraram diferenças entre os tratamentos (Figura 10A). Quanto a altura, *C. myrianthum* apresentou diferenças estatísticas somente para o mês de Junho, sendo o controle superior ao micorrizado (Figura 10B). Para *I. edulis* o diâmetro não demonstrou diferenças estatísticas entre os tratamentos para nenhum dos períodos analisados (Figura 10C). Em altura seguiu-se o mesmo padrão sem diferenciações estatísticas entre os tratamentos em nenhum dos períodos (Figura 10D).

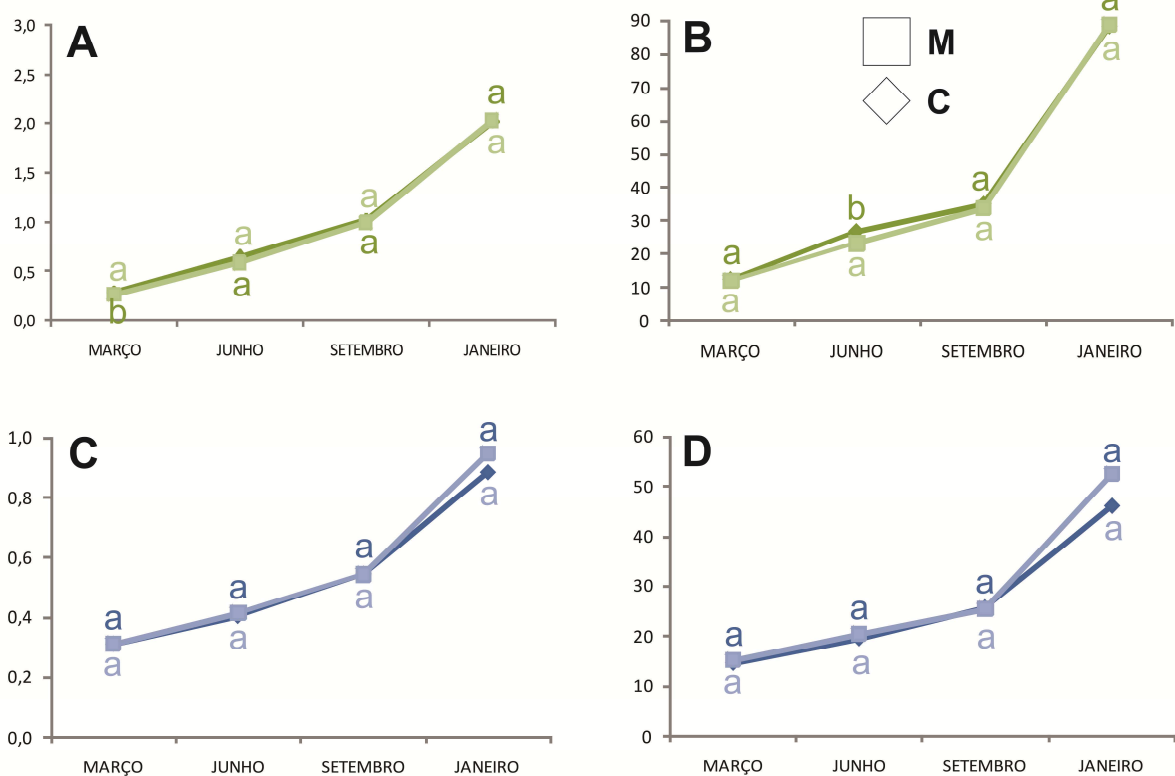


Figura 10 – Gráficos de crescimento de *Inga edulis* e *Citharexylum myrianthum* em Gleissolo ao longo de 10 meses de avaliações. A – Diâmetro (cm) de *C. myrianthum*; B – Altura (cm) de *C. myrianthum*; C – Diâmetro (cm) de *I. edulis*; D – Altura (cm) de *I. edulis*. [C] Controle; [M] Micorrizado. Letras diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos C e M no mesmo período.

Quanto ao incremento das espécies, *I. edulis* obteve um menor acúmulo de crescimento nos dois primeiros períodos, ao passo que no período de Setembro a Janeiro o incremento em diâmetro alcançou 0,40 cm para os indivíduos M (Figura 11A). A altura para estes indivíduos também apresentou um amplo incremento, onde o tratamento M também apresentou valores superiores aos do C, com 27,17 cm de incremento no último período (Figura 11B). Para *C. myrianthum* o desenvolvimento obedeceu ao mesmo padrão, aonde no último período de medição o incremento em diâmetro chegou a 1,04 cm (Figura 11A) também para os indivíduos micorrizados, o mesmo se repetindo para a altura onde o tratamento micorrizado apresentou valores de incremento de 54,81 cm (Figura 11B).

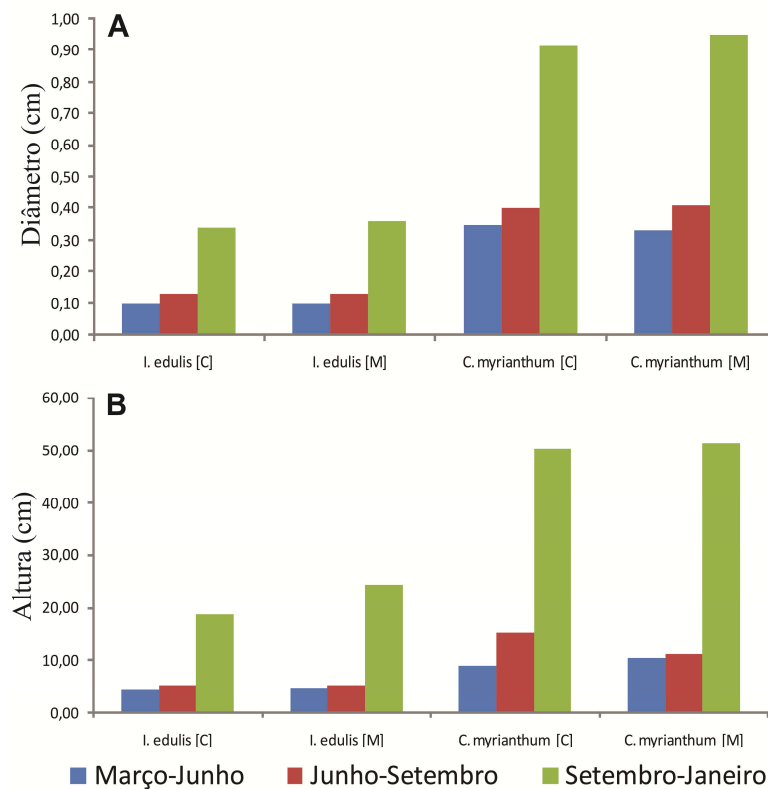


Figura 11 – Incremento mensal em Gleissolo de diâmetro (A) e altura (B) de *I. edulis* e *C. myrianthum* nos tratamentos C (controle) e M (micorriza).

As comparações entre tratamentos demonstraram poucas diferenças estatísticas para as espécies. Por isso foi adotada a análise comparativa entre os solos, a partir dos valores médios de diâmetro e altura obtidos nos dois solos para o mês de Janeiro, com o objetivo de identificar qual das áreas pode ter influenciado no desenvolvimento das plantas. De acordo com os resultados, Gx apresentou diferenças estatísticas em diâmetro para o tratamento M em *I. edulis* e *C. myrianthum* no tratamento C e M (Figura 12A). Para altura, os solos não apresentaram diferenças para nenhuma das espécies em nenhum tratamento (Figura 12B).

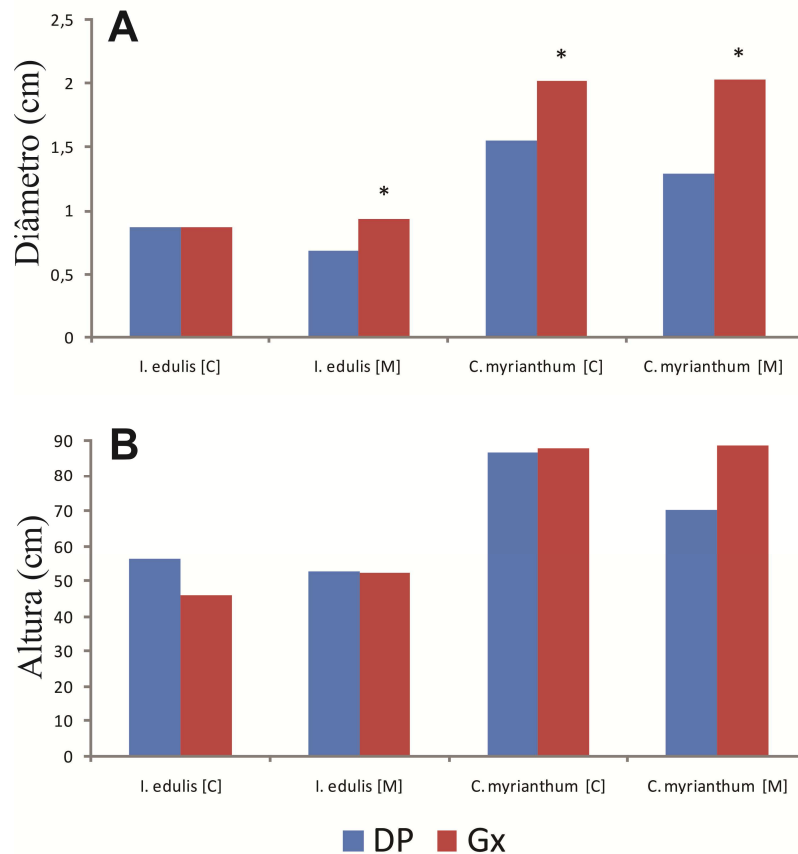


Figura 12 – Valores médios de diâmetro (A) e altura (B) comparados entre Gleissolo (Gx) e Depósito psamo-pelítico (DP) nos tratamentos micorrizados (M) e Controle (C). Onde, * representam diferenças estatísticas dentro de uma mesma espécie no mesmo tratamento fúngico.

6.4.4. Estimativa de biomassa aérea e carbono

A estimativa de biomassa aérea através das equações, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos C e M para nenhuma das áreas de estudo. Também se analisou o acúmulo de biomassa ao longo dos quatro períodos de acompanhamento, demonstrando que tanto em Depósito quanto em Gleissolo, nas duas espécies vegetais, o período de Setembro a Janeiro teve diferenças estatísticas.

As espécies obtiveram um acúmulo total de biomassa de 24,6 kg em 1240 m², somando ambas as áreas. Para Gx foi um total de 11,08 kg, onde destes 1,46 kg representam o acúmulo para *I. edulis* (Figura 13A) e 9,6 kg a biomassa de *C. myrianthum* (Figura 13D), enquanto que em Depósito psamo pelítico o acúmulo total foi de 13,5kg, sendo 12 kg pertencentes ao acúmulo de *C. myrianthum* (Figura 13B) e 1,48 kg o acúmulo de *I. edulis* (Figura 13C).

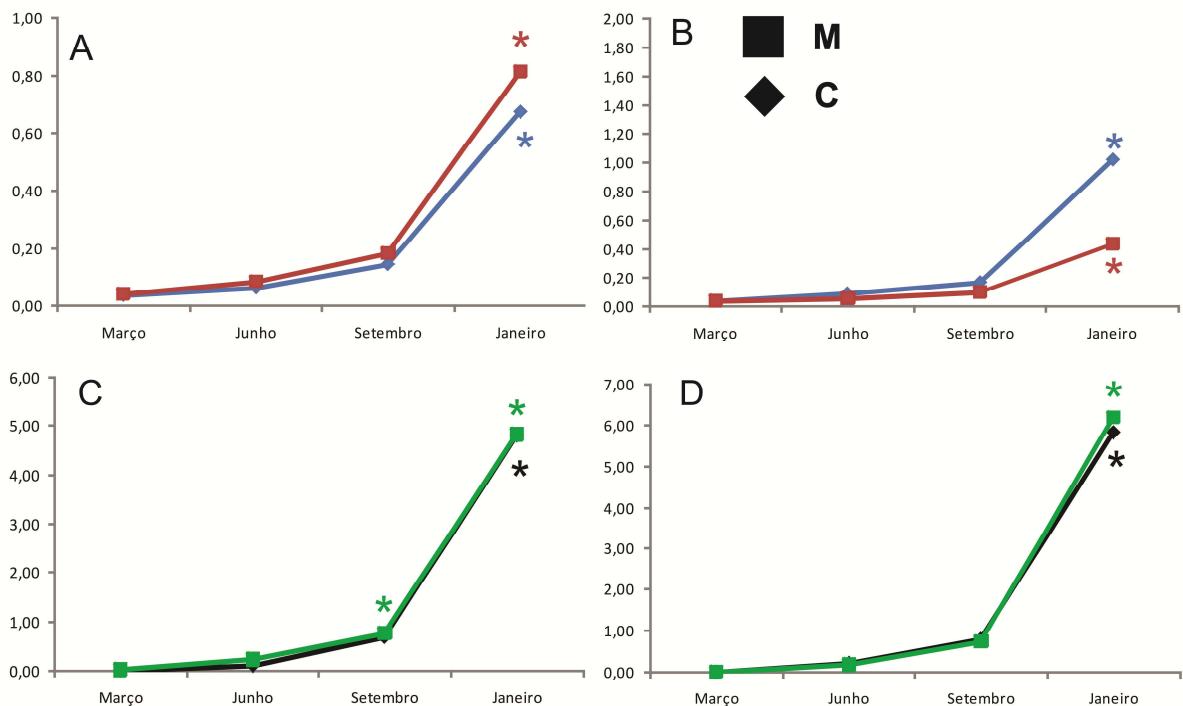


Figura 13 – Acúmulo de biomassa aérea total (kg) em Gleissolo e Depósito Psamo Pelítico ao longo do período de avaliação. * indica diferença significativa entre os tratamentos M e C no mesmo período. [C] controle; [M] micorrizado. (A) *I. edulis* em Gx; (B) *I. edulis* em Dp; (C) *C. myrianthum* em Gx; (D) *C. myrianthum* em Dp.

Os valores de carbono calculados a partir da biomassa (Kg) demonstraram que a quantidade total de carbono acumulado pelas áreas ao longo de um ano foi de aproximadamente 0,300 Kg em 1240 m². Separadamente, os tipos de solos não influenciaram na quantidade de carbono fixado, sendo 0,144 Kg em Gleissolo e 0,135 Kg em Depósito, onde os tratamentos C e M, também não influenciaram nenhuma das espécies. Por outro lado, as espécies apresentaram diferenças entre si, na quantidade de carbono fixado, a espécie *C. myrianthum* fixou 0,113 e 0,131, respectivamente, ao passo que para *I. edulis* os valores foram de 0,019 e 0,016 para os tratamentos C e M, respectivamente.

6.5. Discussão

A mortalidade das espécies no primeiro mês de avaliação foi muito alto, principalmente na área de depósito psamo-pelítico, onde 157 dos 240 indivíduos plantados morreram, enquanto que em gleissolo apenas 28 indivíduos morreram. A causa para a alta mortalidade pode estar relacionada às altas temperaturas que ocorreram no dia do plantio (entre 40 e 45°C), aliado a seca no período, prejudicando o estabelecimento inicial das plantas. Larcher (2006) afirma que a primeira e mais sensível resposta ao déficit hídrico é a diminuição da turgescência diminuindo conseqüentemente o processo de crescimento, principalmente em altura. O mesmo autor destaca que estas respostas surgem na fase de

rápido desenvolvimento da espécie e que mesmo um estresse hídrico moderado, pode desencadear a síntese de ácido abscísico, que induz ao fechamento estomático das folhas e a alteração da relação parte aérea : raiz; caso o grau de desidratação aumente, pode ocorrer a senescência acelerada. Vandresen et al. (2007) acompanharam a sobrevivência e desenvolvimento a campo de espécies arbóreas nativas inoculadas e não inoculadas, e observaram que as espécies inoculadas, tiveram uma maior sobrevivência a campo quando comparadas as plantas não inoculadas. Resultados semelhantes foram encontrados neste estudo, onde as espécies inoculadas com FMAs apresentaram uma mortalidade sensivelmente menor que os indivíduos de controle. Estes resultados indicam que o uso de mudas micorrizadas pode ajudar no processo de revegetação, aumentando a sobrevivência e diminuindo os custos com o replantio.

Outro fator que pode estar atrelado a alta mortalidade é a intensa competição com espécies exóticas invasoras, que nas áreas eram compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf. No Depósito o desenvolvimento da *Brachiaria* era muito superior em comparação a área de Gleissolo, visto que no Gleissolo o período sem a realização de roçada chegou a aproximadamente 3 meses, enquanto que no Depósito as roçadas era realizada mensalmente. Molinaro (2006) observou a campo uma grande mortalidade de *I. edulis* por conta da intensa competição com espécies exóticas invasoras. Para Carpanezzi (2007), a espécie *B. decumbens* apresenta características que facilitam seu caráter invasivo, como ampla utilização como forrageira, rusticidade, grande produção de biomassa além de formar bancos de sementes, permanecendo viáveis no solo por longos períodos. O mesmo autor destaca que esta planta tem predisposição a invasão de ambientes abertos e degradados pelo fogo ou pelo revolvimento do solo, podendo atingir áreas com espécies nativas eliminando a regeneração natural por conta do abafamento.

Considerando os incrementos em diâmetro e altura podemos sugerir que a melhor época para o plantio de mudas a campo é início da primavera, ou início do mês de Setembro, pois em ambas as áreas o incremento acumulado de Setembro a Janeiro foi muito superior em relação aos outros períodos do ano. Com isso as espécies desenvolvem-se com maior rapidez, em um clima mais ameno, possibilitando o rápido desenvolvimento e sombreamento das áreas com *Brachiaria*, a qual é intolerante ao sombreamento. Esta estratégia tem por objetivo recobrir a área no menor período de tempo, com espécies nativas e reduzindo custos inerentes a tratos culturais como as roçadas. Pozzobon (2009), em trabalho com plantio de espécies nativas em áreas de Cambissolo e Neossolo ao longo do Rio Itajaí-açu, também identificou o

início do mês de Setembro como a época ideal para o plantio e melhor desenvolvimento de espécies nativas, dentre elas *C. myrianthum*.

De maneira geral, o desenvolvimento das espécies neste primeiro ano não foi afetado pelos tratamentos C e M. Vandresen et al. (2007) em experimento a campo com espécies arbóreas nativas, e desenvolvimento inicial em casa de vegetação sob três substratos (comercial, comercial e fertilizante e comercial com osmocote e superfosfato) observou a ausência de resposta em altura das plantas inoculadas com FMA, de maneira similar ao observado neste estudo. Quando se trata de projetos de recuperação a inoculação das mudas com FMAs é apontada por vários autores como uma prática positiva e de grande importância para o sucesso do projeto. Zangaro e Andrade, (2002) citam que para o sucesso de um projeto de recuperação a inoculação deve ser realizada durante o processo de desenvolvimento da muda, para que a simbiose seja estabelecida com sucesso. Já Saggin Júnior e Siqueira (1996), elucidam algumas características importantes em plantas inoculadas com FMA e destinadas a recuperação: tem seu desenvolvimento potencializado, exigem menos insumos para tratos culturais e são mais tolerantes ao estresse do transplante para campo. Zangaro et al. (2003) relata em estudo com 80 espécies nativas do sul do Brasil, tanto pioneiras como secundárias e climácicas, a inoculação afetou positivamente as espécies de acordo com os grupos sucessionais. As pioneiras e as secundárias iniciais foram altamente influenciadas pela colonização quando comparadas as secundárias tardias e climácicas e todas as espécies pioneiras utilizadas no experimento apresentaram respostas significativas a inoculação.

C. myrianthum apresentou os maiores valores acumulados de biomassa total (kg), para todos os períodos em relação ao *I. edulis* nas duas áreas de estudo. Segundo Britez et al. (2006) em avaliação de incremento em biomassa e carbono de diversas espécies nativas e exóticas, este constatou que em plantio de tucaneira de até 3 anos, o acúmulo de biomassa anual é de 0,33 kg/ano, já para plantio de até seis anos o acúmulo em biomassa passa a 2,26 kg/ano. Estes valores estão muito próximos dos obtidos neste estudo, sendo que para Depósito *C. myrianthum* acumulou 0,14 e 0,15 kg para C e M, respectivamente. Ao passo que para Gleissolo, *C. myrianthum* acumulou aproximadamente 0,15 e 0,17 kg para C e M, respectivamente no período de 10 meses de avaliação. Além dos benefícios já conhecidos da recuperação e conservação das florestas ciliares a outra importante função destas florestas está ligada a de fixação do CO₂ atmosférico (Lacerda et al., 2009). A fixação do carbono atmosférico ocorre nas árvores em crescimento, funcionando como um dreno, porém ao atingir o clímax estas espécies diminuem esta função, passando a estocar o carbono em sua

biomassa tornando a recuperação de florestas ciliares uma importante alternativa de fixar este carbono atmosférico (Rocha, 2003; Fernandes et al., 2007; Lopes e Miola, 2010). Melo e Durigan (2006) preconizam que o estoque de biomassa por unidade de área em plantios em florestas ciliares pode superar o de florestas nativas maduras, pois o ritmo de crescimento e consequentemente o de fixação de carbono destas florestas são muito superiores. Porém, Brites et al., (2006) afirma que em muitas situações na Floresta Ombrófila Densa Aluvial, os níveis de lençol freático pode se tornar um fator limitante para o acúmulo de biomassa, mas o solo ainda é um grande detentor de carbono estocado.

O tipo de solo não afetou a altura de ambas as espécies, mas em Gleissolo o diâmetro foi superior ao encontrado em Depósito. Uma possível causa para a altura não ter sido estatisticamente diferentes entre os solos, pode estar relacionada a resposta das espécies ao *stress* sofrido nas áreas, por conta, ou da competição com herbáceas exóticas invasoras ou até mesmo pela roçada da parte aérea de alguns indivíduos pelas máquinas, pois durante as medições era possível perceber a perda da dominância apical de alguns indivíduos. Porém, nem todos estes indivíduos morreram, resultando em uma diminuição na altura apenas na avaliação do período seguinte, embora o diâmetro mensurado a 1 cm acima do solo não tenha sido afetado. A rebrota dos indivíduos das duas espécies ocorreu em inúmeros casos em ambas as áreas, porém para *C. myrianthum* este fato foi mais evidente. Vieira et al. (2003), em trabalho realizado sobre a resistência de *C. myrianthum* e *Inga sessilis* ao stress, atestam o alto poder de rebrota de *C. myrianthum*.

Neste estudo ficou evidente o desenvolvimento superior atingido pela espécie *C. myrianthum* em relação a *I. edulis*, tanto para depósito psamo-pelítico como para gleissolo, fazendo da espécie uma importante aliada no processo de recuperação. Segundo Alves et al., (2007) esta espécie adapta-se muito bem a solo úmidos e com grande importância ornitológica, por isso vem sendo comumente utilizada na recuperação de áreas degradadas. Espécies de leguminosas micorrizadas podem ser estabelecidas em áreas com quantidades mínimas de nutrientes principalmente nitrogênio, quando comparadas a espécies que não constituem simbiose micorrizica (Souza e Silva, 1996). Segundo Rosa et al. (2000) devido a resposta a sobrevivência, o crescimento e produção de biomassa, o *I. edulis* é uma espécies de grande interesse para ser utilizada sistemas agrossilviculturais e implantado em solos ácidos e com grande potencialidade para a recuperação de solos muito alterados por atividades agrícolas.

Portanto a utilização de *C. myrianthum* e *I. edulis* podem influenciar positivamente no processo de recuperação de ambientes fluviais, tanto no estabelecimento das mudas a campo e a resistência destas a fatores como, dessecação e competição, além de espécies potenciais para estudos de fixação de carbono atmosférico na biomassa vegetal. Ainda sugerem-se mais estudos, utilizando um maior número de espécies florestais nativas em diferentes tipologias pedológicas para fins de compreensão das respostas destas a campo.

7. Conclusões

- O transplante de mudas em áreas de revegetação induzida em ambientes fluviais deve ser feita em condições mais amenas de temperatura do que as efetuadas neste estudo e sugere-se o início de Primavera como a época ideal.
- A ausência de resposta de crescimento a micorrização para as espécies estudadas pode estar relacionada a um elevado potencial de inóculo micorrizico nestes solos resultando em rápido estabelecimento da associação com plantas controle após o transplante.
- O acúmulo de biomassa observado para *C. myrianthum* em ambas as formações pedológicas sugere que esta espécie tenha um bom potencial para aliar a recuperação de ambientes fluviais com o serviço ambiental de fixação de carbono na biomassa.

Referências bibliográficas

AB´SABER, A. N. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO-FILHO, H. F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

ABBOTT, L. K., GAZEY, C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**. v. 159, p. 69-78, 1994.

ALVARENGA, A. P. *Avaliação inicial da recuperação de mata ciliar em nascentes*. (2004). 194 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras/Minas Gerais.

ALVARENGA, M. I. N., SIQUEIRA, J. O., DAVIDE, A. C. Teor de Carbono, Biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.

ALVAREZ, V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C. G., P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVES, E. W., PESCADOR, R., STÜRMER, S. L., UHLMANN, A. Germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae) em Diferentes Substratos. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 5, n. 2, p. 741-743, 2007.

ALVES, L. D. J. *Efeito da fragmentação florestal sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares da floresta atlântica do extremo sul da Bahia*. (2004). 84 f. (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador/Bahia.

AMARAL, L. I. V., PEREIRA, M. DE F. D. A., CORTELAZZO, Â. L. Formação das substâncias de reserva durante o desenvolvimento de sementes de Urucum (*Bixa orellana* L. - Bixaceae). **Acta Botânica Brasileira**. v. 15, n. 1, p. 125-132, 2001.

AMES, R. N. *et al.* RHIZOSPHERE BACTERIAL POPULATION RESPONSES TO ROOT COLONIZATION BY A VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS *†. **New Phytologist**. v. 96, n. 4, p. 555-563, 1984.

ANTONIOLLI, Z. I., KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**. v. 2, n. 3, p. 441-455, 1991.

BACKES, P., IRGANG, B. *Árvores do sul: guia de identificação & interesse ecológico*. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2002.

BAGO, B., PFEFFER, P. E., SHACHAR-HILL, Y. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. **Plant Physiology**. v. 124, p. 949-957, 2000.

BALBINOT, R., SCHUMACHER, M. V., WATZLAWICK, L. F., SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v. 5, n. 1, p. 59-68, 2003.

BALOTA, E. L., LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: Persistência e interação com espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, p. 217-223, 1996.

BARDDAL, M. L. *A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da floresta ombrófila mista aluvial do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil*. (2006). 130 f. (Doutorado), Universidade Federa; do Paraná, Curitiba/Paraná.

BENNETT, A. E., BEVER, J. D. Mycorrhizal species differentially alter plant growth and response to herbivory. **Ecology**. v. 88, n. 1, p. 210-218, 2007.

BEUTLER, A. N., FERNANDES, L. A., FAQUIN, V. Efeito do Alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 923-928, 2001.

BIGARELLA, J. J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.

BOTELHO, A. S., DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. *Simpósio nacional sobre recuperação de áreas degradadas*. Belo Horizonte, MG2002. p. 123-145.

BRAGA, B. *Introdução a Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRITZ, R. M., BORGIO, M., TIEPOLO, G., FERRETTI, A., CALMON, M., HIGA, R. *Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na floresta atlântica do sul do Brasil*. Colombo/PR: EMBRAPA Florestas, 2006.

BROWN, S. *Estimating biomass and biomass change in tropical forest: a primer*. Rome: FAO, 1997.

BROWN, S. G., A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. **Forest Science**. v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

BUCKERIDGE, M. S., AIDAR, M. P. M., SANTOS, H. P. DOS, TINÉ, M. A. S. Acúmulo de Reservas. In: FERREIRA, A. G., BORGHETTI, F. (Ed.). *Germinação - Do básico ao aplicado*. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

BUCKERIDGE, M. S., SANTOS, H. P., TINÉ, M. A. S., AIDAR, M. P. M. Mobilização de reservas. In: FERREIRA, A. G., BORGHETTI, F. (Ed.). *Germinação - Do básico ao aplicado*. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

CANIATO, F. F., GALVÃO, J. C. C., FINGER, F. L., PUIATTI, M., OLIVEIRA, D. A. DE, FERREIRA, J. L. Quantificação de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Ciência Agrotécnica**. v. 31, n. 6, p. 1893-1896, 2007.

CAPRONI, A. L., FRANCO, A. A., BERBARA, R. L. L., GRANHA, J. R. D. DE O., MARINHO, N. F. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de Bauxita. **Revista Árvore**. v. 29, p. 373-381, 2005.

CARNEIRO, M. A. C., SIQUEIRA, J. O., DAVIDE, A. C., GOMES, L. J., CURI, N., VALE, F. R. DO. Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**. v. 50, p. 21-36, 1996.

CARPANEZZI, O. T. B. *Espécies vegetais exóticas no parque estadual de Vila Velha: subsídios para controle e erradicação*. (2007). 56 f. (Especialização), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CARRENHO, R., TRUFEM, S. F. B., BONONI, V. L. R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasílica**. v. 15, p. 115-124, 2001.

CARRIER, D. J., KENDALL, E. J., BOCK, C. A., CUNNINGHAM, J. E., DUNSTAN, D. I. Water content, lip deposition, and (+)- abscisic acid content in developing white spruce seeds. **Journal of experimental Botany**. v. 50, n. 337, p. 1359-1364, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980.

CURCIO, G. R. *Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil*. (2006). 510 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CURCIO, G. R., UHLMANN, A., SEVEGNANI, L. A geopedologia e sua influência sobre espécies arbóreas de Florestas Fluviais. **Documentos 135**. v., p. 31, 2006.

DICKSON, R. E. Assimilate distribution and storage. In: RAGHAVENDRA, A. S. (Ed.). *Physiology of trees*. Hyderabad: John Wiley & Sons, 1991.

DOUDS, D. D., PFEFFER, P. E., SHACHAR-HILL, Y. Carbon partitioning, cost and metabolism of arbuscular mycorrhizae in arbuscular mycorrhizas: physiology and function. In: KAPULNICK, Y., DOUDS JR., D. D. (Ed.). *Arbuscular Mycorrhizas: Molecular Biology and Physiology*. Dordrecht, The Netherlands (in press): Kluwer Academic Publishers, 2000.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A., SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**. v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

DURALL, D. M. M., J. D., JONES, M. D. CRAWFORD, R., TRAPPE, J. M. Morphological changes and photosynthate allocation in ageing *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quel. and *Laccaria bicolor* (Maire) Orton mycorrhizas of *Pinus ponderosa* Dougl. ex.Laws. **New Phytologist**. v. 127, p. 719-724, 2006.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERNANDES, T. J. G., SOARES, C. P. B., JACOVINE, L. A. G., ALVARENGA, A. DE P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. **Revista Árvore**. v. 31, n. 4, p. 657-665, 2007.

FINLAY, R. D. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. **Journal of experimental Botany**. v. 59, n. 5, p. 1115-1126, 2008.

GANDOLFI, S., RODRIGUES, R. R. Metodologias de restauração florestal *Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas*: Fundação Cargill. p. 109-143, 2007.

GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. **Plant and Soil**. v. 71, n. 1, p. 197-209, 1983.

GIBSON, S. I. Sugar and phytohormone response pathways: navigating a signalling network. **Journal of experimental Botany**. v. 55, n. 395, p. 253-264, 2004.

GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**. v. 84, p. 489-500, 1980.

GODOY, S. G. M. D. *O protocolo de Kyoto e o mecanismo de desenvolvimento limpo: Uma avaliação de suas possibilidades e limites*. (2005). 164 f. (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

GOLDEMBERG, J. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: EDUSP: CESP, 1998. 234 p.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

IPCC. *Emissions scenarios*. Cambridge, England: Nakicenovic, N. & Swart R. Cambridge University Press, 2000. (Special report of the intergovernmental panel on climate change).

_____. *Climate Change 2001: Synthesis Report - A contribution of working groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university cambridge, 2001.

JANOS, D. P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. **Ecology**. v. 61, p. 51-162, 1980.

JANOS, D. P. Mycorrhizas, succession and rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J. C., GADD, G. M. (Ed.). *Fungi and environmental change*. Cambridge: Univ. Press, 1996. p. 1-18.

JASPER, D. A., ABBOTT, L. K., ROBSON, A. D. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. **New phytologist**. v. 118, p. 471-476, 1991.

JENNINGS, D. H. *The physiology of fungal nutrition*. Cambridge, UK.: Cambridge University Press, 1995.

KAGEYAMA, P., GANDARA, F. B. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS CILIARES. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*: EDUSP. p. 320, 2000.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 50, n. 3, p. 243, 1995.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KOIDE, R. T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**. v. 117, n. 3, p. 365-386, 1991.

KOSKE, R. E., GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**. v. 92, p. 486-505, 1989.

KOSKE, R. E., POLSON, W. R. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization? **Bioscience**. v. 34, p. 420-424, 1984.

LACERDA, J. S., COUTO, H. T. Z., HIROTA, M. M., PASISHNYK, N., POLIZEL, J. L. Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas. **MERTVM**. v. 5, 2009.

LAMBAIS, M. R., CARDOSO, E. J. B. N. Avaliação da germinação de esporos de fungos micorrízicos vesículo arbusculares e da colonização micorrízica de *Stylosanthes guianensis* em solo ácido e distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 12, p. 249-255, 1988.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. RIMA, 2006.

LEÓN, P.; SHEEN, J. Sugar and hormone connections. **Trends in Plant Science**. v. 8, n. 3, p. 110-116, 2003.

LIMA, L. S. H., FRANCO, E. T. H., SCHUMACHER, M. V. Crescimento de mudas de *Euterpe edulis* Martius em resposta a diferentes doses de fósforo. **Ciência Florestal**. v. 18, n. 4, p. 461-470, 2008.

LIMA, W. D. P., ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO-FILHO, H. F. (Ed.). *Matas ciliares: Conservação e recuperação*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 33-44.

LOPES, R. B., MIOLA, D. T. B. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. **Synthesis**. v. 2, n. 2, p. 127-143, 2010.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2. ed. ed.: Nova Odessa: Instituto Plantarum de estudos da flora, 1998.

MACDICKEN, K. G. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Arlington: Winrock international institute for agricultural development, 1997.

MACHADO, C. C., GARCIA, A. R., SILVA, E., FONTES, A. M. CARBONO DO SOLO E A MITIGAÇÃO DA MUDANÇA CLIMÁTICA GLOBAL. **Química Nova**. v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MACHADO, P. L. O. A. *Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas*. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997.

MARINHO-FILHO, J., GASTAL, M. L. MAMÍFEROS DAS MATAS CILIARES DOS CERRADOS DO BRASIL CENTRAL. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*: EDUSP. p. 209-221, 2000.

MARTINS, O. S. *Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos - SP*. (2004). 161 f. (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP.

MCT. Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo *Mudanças climáticas*, 2009.

MELO, A. C. G., DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**. v. 71, p. 149-154, 2006.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V, V. H. A., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do Solos*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do solos, 2007. p. 1017.

MOLINARO, L. D. C., VIEIRA, G. Avaliação de espécies promissoras para recuperação de clareiras artificiais da província petrolífera de Urucum/AM. *II Workshop de Avaliação Técnica e Científica da Rede CTPetro Amazônia*. Manaus/Amazonas - Brasil. 2006.

MOREIRA, F. M., SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002.

MOSSE, B. PLANT GROWTH RESPONSES TO VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZA. IV - IN SOIL GIVEN ADDITIONAL PHOSPHATE. **New Phytologist**. v. 78, n. 2, p. 277-288, 1973.

NISHI, M. H., JACOVINE, L. A. G., SILVA, M. L., VALVERDE, S. R., NOGUERIA, H. P., ALVARENGA, A. P. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**. v. 29, n. 2, p. 263-270, 2005.

NOBRE, C. A., NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**. v. 16, n. 45, p. 81-90, 2002.

NOVAIS, R. F., ALVAREZ V, V. H. A., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OPA. Metodologias de restauração florestal *Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas*.: Fundação Cargill, 2007. p. 109-143, 2007.

PASCOAL, J. O., NAVARRO, J. M. B. Significado de los microorganismos del suelo en nutrición vegetal: Simbiosis Rhizobium leguminos y micorrizas VA. In: GARRIDO, M. L., OROSTICA, C. G. (Ed.). *Nutrición Vegetal: Algunos aspectos químicos*. Granada: Consejo superior de investigaciones científicas, 1985.

PASQUALINI, D., UHLMANN, A., STÜRMER. S. L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic rain forest in South Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 245, p. 148-155, 2007.

PEARSON, J. N., ABBOTT, L. K, JASPER, D. A. Phosphorus, soluble carbohydrates and the competition between two arbuscular mycorrhizal fungi colonizing subterranean clover. **New Phytologist**. v. 127, n. 1, p. 101-106, 1994.

POUYÚ-ROJAS, E., SIQUEIRA, J. O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento Pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 35, n. 1, p. 103-114, 2000.

POUYU-ROJAS, E., SIQUEIRA, J. O., SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 30, p. 413-424, 2006.

POZZOBON, M. *Restauração de planícies do Rio Itajaí-açu - SC: Avaliação de sobrevivência e de crescimento de espécies arbóreas nativas por tipo de solo*. (2009). 104 f. (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

PRADO, H. S. *Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso*. Jaboticabal: FUNEP, 1998.

REIS, A., BECHARA, F. C., TRES, D. R. Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola**. v. 67, n. 2, p. 244-250, 2010.

ROCHA, M. T. *Aquecimento global e o mercado de carbono: Uma aplicação do modelo CERT*. (2003). 214 f. (Doutorado), Universidade de São Paulo, Piracicaba-São Paulo.

RODRIGUES, R. R. *Análise de um remanescente de vegetação natural às margens do rio Passa-Cinco, Ipeúna, SP.* . (1992). 373 f. Tese de Doutorado - Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, SP.

RODRIGUES, R. R., NAVE, A. G. HETEROGENEIDADE FLORÍSTICAS DAS MATAS CILIARES. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*: EDUSP. p. 320, 2000.

RODRIGUES, R. R., SHEPHERD, G. J. Fatores condicionantes da vegetação ciliar *In: Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 320.

ROSA, L. D. S., OLIVEIRA, F. DE A., VELASCO, V., ALBÉRIO, V. E. V. Potencialidade do sistema "alley cropping" para recuperação de solos alterados por atividades agrícolas no município de Igarapé-açu, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 34, p. 107-120, 2000.

SAGGIN JÚNIOR, O. J., SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. *In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, MG: UFLA/DCS/DCF, 1996. p. 203-254.

SANQUETA, C. R., BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. *In: SANQUETA, C. R., BALBINOT, R., ZILIO, M. A. B. (Ed.). Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2004.

SCARPINELLA, G. D. A. *Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto*. (2002). 182 f. (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHUSSLER, A., SCHWARTZOTT, D., WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**. v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001.

SCHWAB, S. M., MENGE, J. A., TINKER, P. B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**. v. 117, n. 3, p. 387-398, 1991.

SILVA, A. G. *Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de solo da Amazônia ocidental*. (2009). 85 f. (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, Minas Gerais.

SIQUEIRA, J. O., LAMBAIS, M. R., STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: Características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. v. 25, p. 12-21, 2002.

SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. M. S., GRISI, B. M., HUNGRIA, M., ARAUJO, R. S. *Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: EMBRAPA, 1994.

SIQUEIRA, J. O., SAFIR, G. R., NAIR, M. G. . Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**. v. 118, p. 87-93, 1991.

SIQUEIRA, J. O., SAGGIN-JÚNIOR, O. J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: MACHADO, A. T., MAGNAVACA, R., PANDEY, S., SILVA, A. F. (Ed.). *Proceedings International Symposium on Environmental Stress: Maize in Perspective*. Brazil/México: EMBRAPA/CYMMY/UNDT, 1995. p. 240-280.

SIQUEIRA, J. O., SYLVIA, D. M., GIBSON, J., HUBBELL, D. H. Spores, germination, and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Can. J. Microbiol.** v. 31, p. 965-972, 1985.

SIQUEIRA, J. O., SYLVIA, D.M., GIBSON, J., HUBBELL, D.H. Spores, germination, and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 31, p. 965-972, 1985.

SMITH, R. D. Plant-mycorrhiza percent infection as evidence of coupled metabolism. **Journal of Theoretical Biology**. v. 259, n. 1, p. 172-175, 2009.

SMITH, S. E.; BARKER, S. J. Plant phosphate transporter genes help harness the nutritional benefits of arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Trends in Plant Science**. v. 7, n. 5, p. 189-190, 2002.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Growth and carbon economy of VA mycorrhizal plants *Mycorrhizal Symbiosis (Second Edition)*. London: Academic Press, 1997. p. 105-125.

SMITH, S. E., READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. San Diego: Academic, 1997. (2).

SOUSA, D. M. G., MIRANDA, L. N., OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V, V. H. A., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SOUZA, F. A., SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, MG: UFLA/DCS/DCF, 1996. p. 255-290.

SOUZA, R. C., PEREIRA, M. G., GIÁCOMO, R. G., SILVA, E. M. R., MENEZES, L. F. T. Produção de mudas micorrizadas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. em diferentes substratos. **Floresta**. v. 39, n. 1, p. 197-206, 2009.

STANO, F. *Estabelecimento inicial de espécies florestais nativas indicadas para recuperação de ambientes fluviais na bacia do Itajaí/SC sob diferentes espaçamentos e condições pedológicas*. (2007). 130 f. (Mestrado), Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

SUGUIO, K., BIGARELLA, J. J. *Ambiente Fluvial*. 1. ed. Curitiba: E. UFPR, 1979.

TAIZ, L., ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3 ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TATE, R. L., KLEIN, D. A. *Soil reclamation processes: microbiological analyses and applications*. New York: M. Decker, 1985.

THEODORO, V. C. D. A., ALVARENGA, M. I. N., GUIMARÃES, R. J., MOURÃO JUNIOR, M. Carbono na biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**. v. 25, n. 1, p. 147-153, 2003.

TREVISAN, R., GONÇALVES, E. D., GARDIN, J., VERÍSSIMO, V., HERTER, F. G. Teores de açúcares em plantas de pereira (*Pyrus serotina* REHDER) NAK., CV. NIJISSEIKE submetidas à desfolha total e poda de gema no final do ciclo de crescimento. **Revista Brasileira de Agriciência**. v. 9, n. 2, p. 117-119, 2003.

VANDRESEN, J., NISHIDATE, F. R., TOREZAN, J. M. D., ZANGARO, W. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**. v. 21, n. 4, p. 753-765, 2007.

VIBRANS, A. C. *A cobertura florestal da bacia do rio Itajaí: elementos para uma análise histórica*. (2003). 225 f. (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

VILELA, D. F. *Estratégias para a recuperação da vegetação no entorno de nascentes*. (2006). (Mestrado), Universidade federal de Lavras, Lavras.

WILLIAMS, M., MALHI, Y., NOBRE, A. D., RASTETTER, E. B., GRACE, J., PEREIRA, M. G. P. Seasonal variation in net carbon exchange and evapotranspiration in a Brazilian rain forest: a modelling analysis. **Plant, Cell and environment**. v. 21, p. 953-968, 1998.

WOOLHOUSE, H. W. Membrane structure and transport problems considered in relation to phosphorus and carbohydrate movement and the regulation of the endotrophic mycorrhizal associations *Endomycorrhizas*. London: Academic Pres, 1975. p. p. 209-223.

ZANDEVALLI, R. B. *et al.* Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**. v. 25, n. 3, p. 245-255, 2004.

ZANGARO, W., & ANDRADE, G. MICORRIZAS ARBUSCULARES EM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA BACIA DO RIO TIBAGI. P. 171-210. In: MEDRI, M. E., BIANCHINI, E., PIMENTA, J.A., SHIBATA, O. (Ed.). *A bacia do rio Tibagi*. Londrina, 2002.

ZANGARO, W., NISIZAKI, S. M. A., DOMINGOS, J. C. B., NAKANO, E. M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi, Paraná. **CERNE**. v. 8, n. 1, p. 77-87, 2002.

ZANGARO, W., NISIZAKI, S. M. A., DOMINGOS, J. C. B., NAKANO, E. M. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **Journal of tropical Ecology**. v. 19, p. 315-324, 2003.

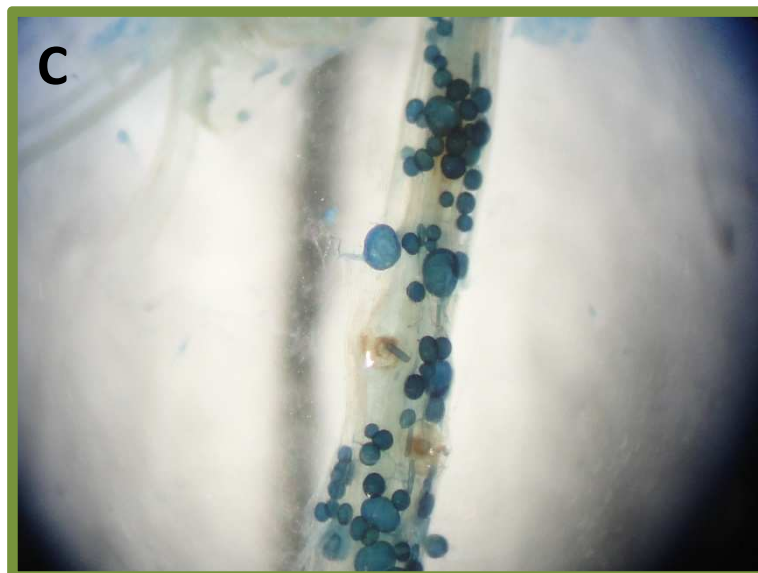
APÊNDICE 1

Espécies utilizadas no experimento 1 - Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na biomassa seca e porcentagem de colonização de *Schinus terebinthifolius*, *Allophylus edulis* e *Alchornea glandulosa* em duas classes de solos fluviais da bacia do Itajaí. (A) *Alchornea glandulosa*; (B) *Allophylus edulis*; (C) *Schinus terebinthifolius*.



APÊNDICE 2

Imagens referentes ao experimento 2 - Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na alocação de carboidratos solúveis e amido em plântulas de *Schinus terebinthifolius* e *Luehea divaricata*. (A) Indivíduos micorrizado e controle de *Luehea divaricata*; (B) Indivíduos micorrizado e controle de *Schinus terebinthifolius*; (C) Raiz de *L. divaricata* colonizada por FMA.



APÊNDICE 3

Imagens referente ao experimento 3 sob Depósito Psamo-Pelítico - Estabelecimento a campo e efeitos da inoculação micorrízica em *Inga edulis* Mart. e *Citharexylum myrianthum* Cham. em duas formações pedológicas, Gleissolo e Depósito Psamo – Pelítico. (A) *C. myrianthum* Março/2010; (B) *C. myrianthum* Janeiro/2011; (C) *I. edulis* Março/2010; (D) *I. edulis* Janeiro/2011.



APÊNDICE 4

Imagens referente ao experimento 3 sob Gleissolo - Estabelecimento a campo e efeitos da inoculação micorrízica em *Inga edulis* Mart. e *Citharexylum myrianthum* Cham. em duas formações pedológicas, Gleissolo e Depósito Psamo – Pelítico. (A) *C. myrianthum* Março/2010; (B) *C. myrianthum* Janeiro/2011; (C) *I. edulis* Março/2010; (D) *I. edulis* Janeiro/2011.

