

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Daniele Guarienti Rorato

**ESTRATÉGIAS PARA O RESTABELECIMENTO DE ÁREAS
ANTROPIZADAS COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO
EXTREMO SUL DO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

Santa Maria, RS
2017

Daniele Guarienti Rorato

**ESTRATÉGIAS PARA O RESTABELECIMENTO DE ÁREAS ANTROPIZADAS
COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO EXTREMO SUL DO BIOMA MATA
ATLÂNTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª. Maristela Machado Araujo

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rorato, Daniele Guarienti
Estratégias para o restabelecimento de áreas antropizadas com espécies arbóreas nativas no extremo sul do Bioma Mata Atlântica / Daniele Guarienti Rorato.- 2017.
150 p.; 30 cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Coorientadora: Luciane Almeri Tabaldi
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Espécies florestais 2. Mudas 3. Plantio 4. Mata ciliar 5. Atributos morfofisiológicos I. Araujo, Maristela Machado II. Tabaldi, Luciane Almeri III. Título.

Daniele Guarienti Rorato

**ESTRATÉGIAS PARA O RESTABELECIMENTO DE ÁREAS ANTROPIZADAS
COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO EXTREMO SUL DO BIOMA MATA
ATLÂNTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 21 de Fevereiro de 2017

Maristela Machado Araujo, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Gilvano Ebling Brondani, Dr. (UFLA)

Rejane Flores, Dra. (IFFarroupilha)

Joseila Maldaner, Dra. (Fepagro Florestas)

Maria Helena Fermino, Dra. (SAPI-RS)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por inúmeras demonstrações de sua presença.

A minha mãe Gelsa, pelo apoio incondicional em todas as horas, pelo amor, carinho, dedicação, amizade, cumplicidade, companheirismo e incentivo recebido.

Ao meu noivo Ezequiel, por toda ajuda e compreensão nos momentos de ausência.

À minha orientadora, Prof^a Maristela M. Araujo, pela dedicação, amizade, orientação e ensinamentos transmitidos.

A minha co-orientadora, Prof^a Luciane A. Tabaldi, por todos os ensinamentos, disponibilidade e amizade, e a sua equipe de trabalho, em especial Vicky, Wilson e Dani, pelo apoio na realização das análises fisiológicas. Também agradeço a Liana Rossato, por toda a ajuda nas análises fisiológicas.

Aos Professores Gilvano Brondani, Rejane Flores, Joseila Maldaner, Maria Helena Fermino, Cléber Saldanha e Lia Reiniger pela disponibilidade em participar da banca de avaliação.

Ao Fundo Socioambiental Caixa e a Caixa Econômica Federal, por meio do Projeto “Recuperação e enriquecimento de áreas alteradas nas margens de cursos d’água na região central do Rio Grande do Sul, com base em material genético superior”, AC FSA CAIXA nº 015.007/2012, pelo auxílio financeiro para elaboração desse trabalho. Agradeço também ao Ministério de Público de Faxinal do Soturno pelo apoio sempre que necessário.

Aos professores do PPG em Engenharia Florestal, pelos conhecimentos compartilhados.

A Universidade Federal de Santa Maria pela formação profissional e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Srs. Vicente Carning e Rubens Pegoraro, pela liberação das áreas para realização dos plantios e aos proprietários adjacentes Jacinto Garlet, Wilson Western e Araci Pegoraro, pelo apoio sempre que necessário.

Ao amigo Gilson, companheiro de todos os mutirões, pela presteza, disponibilidade e alegria com que sempre nos acompanhou na condução dos experimentos.

Aos grandes amigos Felipe Turchetto, Adriana Griebeler, Álvaro Berghetti e Felipe Barbosa, pelo apoio incondicional durante essa caminhada. Nossa amizade é para a vida!!!

À minha amiga Adriana Dutra, que sempre me apoiou em todos os momentos.

A toda a equipe do Lab. de Silvicultura e Viveiro Florestal, pelo convívio e amizade durante todos esses anos, pela troca de experiências e apoio na implantação e condução dos plantios. Em especial, a colega Suelen pela constante revisão desse trabalho e aos funcionários Gervásio Mario e Élio Campagnol por compartilharem comigo suas experiências e conselhos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização dessa importante conquista em minha vida.

Muito obrigada!

RESUMO

ESTRATÉGIAS PARA O RESTABELECIMENTO DE ÁREAS ANTROPIZADAS COM ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO EXTREMO SUL DO BIOMA MATA ATLÂNTICA

AUTORA: Daniele Guarienti Rorato
ORIENTADORA: Maristela Machado Araujo

O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar o desenvolvimento de *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis*, *Eugenia involucrata*, *Inga vera*, *Parapiptadenia rigida* e *Schinus terebinthifolius* diante da incidência de geadas e utilização de diferentes práticas silviculturais, em áreas alteradas no Sul do Bioma Mata Atlântica. O plantio foi realizado em Nova Palma, RS, em duas áreas ripárias. No primeiro experimento, os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (2 x 2) [dois tipos de recipiente (tubetes cônicos de polipropileno de 180 cm³ e sacos de polietileno de 1.500 cm³) x presença ou ausência de adubação verde (*Canavalia ensiformis* e *Vicia sativa*)]. No segundo experimento, utilizou-se fatorial (3 x 2), considerando dois tipos de adubação e testemunha (adubação química, adubação orgânica e ausência de adubação) x cobertura do solo (presença ou ausência de cobertura morta sobre o solo). Em ambos os experimentos foi avaliada a sobrevivência, além de atributos morfológicos (altura, diâmetro do coleto, projeção de copa, matéria seca aérea e área foliar) e fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*, teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, atividade da enzima fosfatase ácida, conteúdo de fósforo solúvel, atividade da enzima superóxido dismutase e conteúdo de peróxido de hidrogênio). No inverno de 2014, evidenciaram-se danos nas espécies devido a incidência de geadas, os quais foram avaliados mediante escala de notas variando de 0 (100% da área foliar e caule danificado) a 10 (ausência de dano visual). Também foi avaliado o potencial de retomada do crescimento das espécies, caracterizado como resiliência. Adicionalmente, foram avaliados no final da pesquisa, aos 720 e 900 dias após plantio (experimento 1 e 2, respectivamente), atributos físicos do solo nas áreas experimentais e área adjacente (campo nativo e área agrícola). Evidenciou-se que as espécies florestais respondem de forma diferenciada a ação da geada. *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* mostraram-se tolerantes à geada e/ou com potencial de retomada do crescimento, no entanto, *C. vernalis* e *I. vera* foram consideradas como muito sensíveis à geada, e/ou sem potencial de resiliência. A sobrevivência foi superior a 77%, independente dos fatores testados, exceto para *C. vernalis* (61%), que juntamente com *E. involucrata* (80%) apresentaram maior sobrevivência quando utilizada cobertura morta sobre o solo. As espécies apresentaram maior crescimento quando foram produzidas em recipientes de maior volume e diante a introdução da adubação verde na área. Além disso, a adubação química, por meio de fertilizante de liberação controlada, influenciou positivamente o crescimento em campo, potencializando o desenvolvimento das mudas, de forma a minimizar possíveis danos decorrentes de estresses bióticos e/ou abióticos. A presença de cobertura morta não demonstrou efeito sobre o crescimento de todas as espécies analisadas. De forma complementar, a análise dos ambientes nas áreas experimentais evidenciou melhorias na qualidade física do solo, contribuindo para o retorno do equilíbrio desses ecossistemas.

Palavras-chave: Espécies florestais. Mudas. Plantio. Mata ciliar. Atributos morfofisiológicos.

ABSTRACT

STRATEGIES FOR THE RECOVERY OF ANTHROPIZED AREAS WITH NATIVE TREE SPECIES IN THE SOUTHERN EXTREME OF ATLANTIC FOREST BIOME

AUTHOR: Daniele Guarienti Rorato
ADVISOR: Maristela Machado Araujo

The aim of this research was to characterize the development of *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis*, *Eugenia involucrata*, *Inga vera*, *Parapiptadenia rigida* and *Schinus terebinthifolius* in relation to the incidence of frost and the use of different silvicultural practices in altered areas in the South Atlantic Forest Biome. The planting was carried out in Nova Palma, RS, in two riparian areas. In the first experiment, the treatments were distributed in a factorial design (2 x 2) [two types of containers (180 cm³ polypropylene conical tubes and 1.500 cm³ polyethylene bags)], and presence or absence of green manure (*Canavalia ensiformis* and *Vicia sativa*). In the second experiment, factorial design (3 x 2) was used, considering two types of fertilization and control (chemical fertilization, organic fertilization and absence of fertilization) x soil cover (presence or absence of mulching). In both experiments, survival, morphological attributes (height, stem diameter, tree canopy, shoot dry weight and leaf area) and physiological (chlorophyll *a* fluorescence, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoid content, acid phosphatase, soluble phosphorus content, superoxide dismutase and hydrogen peroxide) were evaluated. During 2014 winter season, the damage from the impact of frost was assessed through a rating scale ranging from 0 (100% of the leaf area and damaged stem) to 10 (no visual damage). It was also evaluated the potential of growth recover species, characterized as resilience. In addition, soil physical parameters in the experimental and adjacent areas were evaluated at the end of the study, at 720 and 900 days after planting (experiment 1 and 2, respectively). The forest species respond differently to frost incidence. *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* and *S. terebinthifolius* were tolerant to frost and/or showed potential for growth recovery, on the other hand, *C. vernalis* and *I. vera* were more sensitive to frost, with high mortality rates and/or no resilience potential. Survival rate was higher than 77%, regardless of the factors tested, except for *C. vernalis* (61%) and *E. involucrata* (80%) that showed higher survival when mulching was used on the soil. The species presented higher growth when they were produced in larger containers volume and with introduction of the green manure. In addition, chemical fertilization, through controlled release fertilizer, positively influenced the growth in the field, increasing the development of the seedlings, in order to minimize possible damages due biotic and/or abiotic stresses. The presence of mulching did not show any effect on the growth of all species analyzed. In a complementary way, analysis of the environments in the experimental areas evidenced improvements in the physical quality of the soil, contributing to the return of equilibrium of these ecosystems.

Keywords: Forest species. Seedlings. Planting. Riparian forest. Morphophysiological attributes.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático da distribuição das espécies utilizadas na composição do arranjo, Nova Palma, RS.....	46
Figura 2 - Distribuição geográfica do clima subtropical úmido na América do Sul (adaptado de Alvares et al., 2013) à esquerda e a área de estudo localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....	56
Figura 3 - Temperaturas mínimas diárias (°C) registradas durante a condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil.....	57
Figura 4 - Tolerância de espécies florestais à geada, com base em escala de notas variando de 0 (100% do caule e área foliar danificados) a 10 (ausência de dano visual), avaliada aos 270 dias após plantio das espécies (A) e sobrevivência de seis espécies florestais nativas aos 360 dias (B) em plantio de restauração de mata ciliar, no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.....	60
Figura 5 - Crescimento em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de seis espécies florestais em plantio de restauração de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.....	61
Figura 6 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e em destaque a demarcação dos limites da Propriedade 1.....	71
Figura 7 - Temperaturas médias mensais (°C) e precipitação média mensal (mm) registrada durante a condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil.....	72
Figura 8 - Sobrevivência de mudas de espécies florestais nativas, aos 60 dias após plantio, produzidas em diferentes recipientes e implantadas em área de mata ciliar, extremo sul do Bioma Mata Atlântica.....	76
Figura 9 - Crescimento em altura e diâmetro do coleto no tempo de <i>C. sylvestris</i> (A e B), <i>E. involucrata</i> (C e D), <i>P. rigida</i> (E e F) e <i>S. terebinthifolius</i> (G e H), em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Mata Atlântica, Brasil.....	78
Figura 10 - Porosidade do solo em área experimental e área adjacente (campo nativo), extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.....	85
Figura 11 - Taxa de infiltração de água no solo (mm min^{-1}) em área experimental e área adjacente (campo nativo), extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.....	85
Figura 12 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e em destaque a demarcação dos limites da Propriedade 2.....	96
Figura 13 - Temperaturas médias mensais (°C) e precipitação média mensal (mm) registrada durante 2,5 anos de condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil.....	97
Figura 14 - Sobrevivência de mudas de <i>C. vernalis</i> e <i>E. involucrata</i> aos 60 dias após plantio em área de mata ciliar, no extremo sul do Bioma Mata Atlântica.....	101

Figura 15 - Crescimento em altura (H) de <i>C. sylvestris</i> (A), <i>C. vernalis</i> (B), <i>E. involucrata</i> (C), <i>I. vera</i> (D), <i>P. rigida</i> (E) e <i>S. terebinthifolius</i> (F), com diferentes adubações em plantio no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	102
Figura 16 - Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de <i>C. sylvestris</i> (A), <i>C. vernalis</i> (B), <i>E. involucrata</i> (C), <i>I. vera</i> (D), <i>P. rigida</i> (E) e <i>S. terebinthifolius</i> (F), com diferentes adubações em plantio no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	103
Figura 17 - Matéria seca aérea (A e C) e área foliar (B e D), aos 900 dias após a implantação de seis espécies florestais nativas com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	104
Figura 18 - Fluorescência inicial (F_0) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) aos 900 dias após a implantação de cinco espécies florestais nativas, com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	105
Figura 19 - Teor de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e carotenoides de seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	106
Figura 20 - Atividade da enzima fosfatase ácida (APase) em seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	107
Figura 21 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica.....	108
Figura 22 - Porosidade do solo em área experimental e área agrícola, aos 900 dias, extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.....	109
Figura 23 - Taxa de infiltração de água no solo (mm min^{-1}) em área experimental e área agrícola, aos 900 dias, extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação da tolerância de espécies florestais nativas em plantio de área ripária no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil	58
Tabela 2 - Incremento em altura (IH) e incremento em diâmetro do coleto (IDC) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	77
Tabela 3 - Projeção de copa (cm ²) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	79
Tabela 4 - Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F _v /F _m) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	80
Tabela 5 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) (μmol m ⁻² s ⁻¹) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	81
Tabela 6 - Teor de clorofila <i>a</i> e clorofila <i>b</i> (mg g MF ⁻¹), de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	82
Tabela 7 - Atividade da enzima fosfatase ácida (APase) (nmol Pi min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína) e conteúdo de fósforo solúvel (Pi) (μmol de Pi g MF ⁻¹), das espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	83
Tabela 8 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), em U mg ⁻¹ de proteína, de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica	84

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Valores relativos aos atributos químicos e físicos do solo, e interpretação, conforme a SBCE/CQFS (2004) para as duas áreas de estudo, Nova Palma, RS, em setembro de 2013	137
Apêndice B - Tamanho médio das mudas de seis espécies florestais nativas utilizadas na composição de um arranjo, no momento do plantio do experimento 1 (setembro de 2013) e do experimento 2 (novembro/2013), Nova Palma, RS	138
Apêndice C - Avaliação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (A-D) e infiltração de água no solo mediante infiltrômetro de anel (E-F), Nova Palma, RS	139
Apêndice D - Preparo do solo e demarcação das parcelas (A – B), abertura das covas (C) e plantio das mudas (D - E), setembro de 2013, experimento 1, Nova Palma, RS	140
Apêndice E - Danos ocasionados pela geada em indivíduos de <i>Casearia sylvestris</i> (A e B), <i>Cupania vernalis</i> (C) e <i>Inga vera</i> (D), aos 270 dias após a implantação em área ciliar, Nova Palma, RS	141
Apêndice F - Adubação verde com as espécies de leguminosas <i>Canavalia ensiformis</i> (A-B) e <i>Vicia sativa</i> (C-D), cultivadas nas estações sazonais do verão e inverno, respectivamente, experimento 1, Nova Palma, RS	142
Apêndice G - Fluorescência inicial (F_0), aos 240 e 720 dias após a implantação de espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica.....	143
Apêndice H - Fluorescência máxima (F_m), aos 240 e 720 dias após a implantação de espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica.....	144
Apêndice I - Teor de carotenoides (mg g MF^{-1}), aos 720 dias após a implantação de quatro espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica	145
Apêndice J - Abertura das covas (A), preparo do hidrogel (B), plantio das mudas (C) e aplicação da cobertura morta em toda parcela (E), em novembro de 2013, experimento 2, Nova Palma, RS.....	146
Apêndice K - Características químicas e físicas do resíduo orgânico utilizado no experimento 2, instalado em novembro de 2013, Nova Palma, RS.....	147
Apêndice L - Determinação da matéria seca aérea (A - B) e área foliar específica (C - F) de espécies florestais, aos 900 dias após a implantação do experimento 2, Nova Palma, RS....	148
Apêndice M - Fluorescência máxima (F_m) e taxa de transporte de elétrons (ETR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de espécies florestais aos 900 dias após a implantação, em função de diferentes tipos de adubação e cobertura morta sobre o solo, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica	149

Apêndice N - Conteúdo de fósforo solúvel (Pi) ($\mu\text{mol de Pi g MF}^{-1}$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}^{-1}$) de espécies florestais aos 900 dias após a implantação, em função de diferentes tipos de adubação e cobertura morta sobre o solo, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica.....	150
---	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.1 Objetivos Específicos.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Mata Atlântica e a Floresta Estacional Subtropical.....	24
2.2 As matas ciliares e a necessidade de recuperação.....	25
2.3 Espécies florestais nativas indicadas para recuperação de áreas ripárias.....	25
2.3.1 <i>Casearia sylvestris</i>	28
2.3.2 <i>Cupania vernalis</i>	29
2.3.3 <i>Eugenia involucrata</i>	30
2.3.4 <i>Inga vera</i>	31
2.3.5 <i>Parapiptadenia rigida</i>	31
2.3.6 <i>Schinus terebinthifolius</i>	32
2.4 Tolerância ao frio em plantas.....	343
2.5 Silvicultura de nativas: tratos culturais.....	34
2.6 Atributos morfológicos e fisiológicos para monitorar o crescimento das espécies.....	37
2.6.1 Atributos morfológicos de crescimento.....	37
2.6.2 Atributos fisiológicos.....	39
2.6.2.1 Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila <i>a</i>	39
2.6.2.2 Fosfatases ácidas e conteúdo de fósforo solúvel.....	40
2.6.2.3 Estresse oxidativo e sistema antioxidante.....	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Caracterização geral das áreas do estudo.....	43
3.2 Produção das mudas.....	44
3.3 Plantio das mudas.....	45
3.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	46
3.5 Coleta e análise dos dados.....	47
3.5.1 Sobrevivência e atributos morfológicos.....	47
3.5.2 Atributos fisiológicos.....	48
3.5.2.1 Teor de pigmentos fotossintéticos (clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> e carotenoides).....	48
3.5.2.2 Determinação da fluorescência da clorofila <i>a</i>	49
3.5.2.3 Atividade da enzima fosfatase ácida e conteúdo de fósforo solúvel.....	49
3.5.2.4 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD).....	50
3.5.2.5 Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂).....	51
3.5.3 Atributos físicos do solo.....	51
CAPÍTULO I	93
4 INTRODUÇÃO	54
5 MATERIAL E MÉTODOS	56
5.1 Área de estudo.....	56
5.2 Desenho experimental.....	57
6 RESULTADOS	60
7 DISCUSSÃO	63
8 CONCLUSÃO	67
CAPÍTULO II	68
9 INTRODUÇÃO	69
10 MATERIAL E MÉTODOS	71
10.1 Área de estudo.....	71
10.2 Instalação do experimento.....	72

10.3	Desenho experimental.....	73
10.4	Atributos analisados.....	74
10.5	Análise estatística	75
11	RESULTADOS	76
12	DISCUSSÃO	86
13	CONCLUSÃO.....	92
CAPÍTULO III.....		93
14	INTRODUÇÃO.....	94
15	MATERIAL E MÉTODOS	96
15.1	Área de Estudo.....	96
15.2	Instalação do experimento.....	97
15.3	Desenho experimental.....	98
15.4	Atributos analisados.....	99
15.5	Análise estatística	100
16	RESULTADOS	101
17	DISCUSSÃO	110
18	CONCLUSÃO.....	117
19	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		119
APÊNDICES		136

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais sofrem constante degradação a partir da ação antrópica, devido ao desenvolvimento das atividades agropecuárias, expansão das áreas urbanas e demanda por infraestrutura. Nesse contexto, dados da FAO (2015) indicam que até 1990 31,6% do território mundial era ocupado por florestas (4.128 milhões de hectares), enquanto que em 2015 esse percentual diminuiu para 30,6% (3.999 milhões de hectares). Entre esses ecossistemas, destaca-se o Bioma Mata Atlântica, que embora caracterizado pela riqueza e diversidade de espécies de flora e fauna, encontra-se reduzido e fragmentado (TABARELLI et al., 2005).

Esse bioma é composto por diversas formações, entre as quais se destacam as Florestas Estacionais. No Rio Grande do Sul, especificamente na região central, a formação original é constituída pela Floresta Estacional Decidual, recentemente denominada por Schumacher et al. (2011) de Floresta Estacional Subtropical, devido à diferença das Florestas Deciduais da região central do Brasil. Nessa formação, assim como nas demais encontradas no Estado, remanescentes florestais, localizados em áreas passíveis de uso agrícola ou de ocupação humana, foram e ainda são suprimidos para tais usos.

Um exemplo disso é a supressão da vegetação presente em matas ciliares. Essa vegetação foi caracterizada, conforme o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965), como Área de Preservação Permanente (APP). Recentemente, essa legislação foi alterada pela Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012, sendo mantida a caracterização desses locais como APP's, o que impossibilita a remoção da cobertura vegetal original nesses ambientes, porém com alterações em termos de dimensões. Nesse caso, deve-se manter uma faixa de oito metros de vegetação ao longo de cursos d'água localizados em pequenas propriedades rurais (BRASIL, 2012).

A mata ciliar possui importantes funções ecológicas, destacando-se a redução do processo erosivo e da lixiviação de nutrientes, além de constituir corredor de fluxo gênico (ALVARENGA; BOTELHO; PEREIRA, 2006). Quando esses locais encontram-se alterados, o seu restabelecimento pode ser realizado mediante várias técnicas, entre essas o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas.

Para determinação de metodologias visando o restabelecimento de áreas alteradas e/ou degradadas, o conhecimento do comportamento silvicultural das espécies florestais nativas a serem utilizadas é fundamental. No entanto, essas espécies ainda são pouco estudadas, necessitando de pesquisas que enfoquem suas características silviculturais. Esses estudos

devem considerar além do processo germinativo e o crescimento de mudas no viveiro, o comportamento e desenvolvimento das espécies no campo, correlacionando seus aspectos morfológicos e fisiológicos.

Espécies como *Casearia sylvestris* Sw. (carvalinho), *Cupania vernalis* Cambess. (camboatá-vermelho), *Eugenia involucrata* DC. (cerejeira), *Inga vera* Willd (ingá-banana), *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (pimenteira), são algumas das indicadas para recomposição de áreas a serem recuperadas em APP's ou reserva legal (LORENZI, 2008; CARVALHO, 2003).

Informações técnicas quanto à tolerância e potencial de resiliência de espécies arbóreas nativas frente a fatores ambientais adversos como as geadas no Sul do Brasil, e também suas respostas quanto à utilização de mudas produzidas em diferentes tipos de recipientes, assim como tratos culturais aplicados, envolvendo adubação e cobertura do solo, são importantes e ainda pouco investigadas. Comumente, os estudos envolvendo nativas referem-se às técnicas de produção de mudas em viveiro. Porém, conforme Abreu et al. (2015) e Mezzomo et al. (2017), esses devem ser complementados mediante o monitoramento dessas espécies em plantios no campo, possibilitando caracterizar o comportamento das mesmas em condições naturais.

A caracterização do desenvolvimento silvicultural possibilitará identificar espécies potenciais e adequar arranjos para uso em programas de recuperação de áreas degradadas. Isso é de extrema importância, especialmente para o extremo Sul do Bioma Mata Atlântica, o qual carece de informações sobre o desempenho de espécies nativas em condições de campo, quando comparado às regiões de menores latitudes. Adicionalmente, poderá ser possível, mediante a escolha adequada das espécies, reduzir os custos de implantação e manutenção e, conseqüentemente, alcançar maior sucesso na recuperação, em menor espaço de tempo.

Assim, a presente tese está estruturada de modo que os elementos textuais sejam compostos pela introdução, revisão bibliográfica, metodologia utilizada na caracterização química e física das áreas e coleta dos dados morfológicos e fisiológicos. A revisão aborda o bioma Mata Atlântica e a Floresta Estacional Subtropical, importância das matas ciliares e a necessidade de recuperá-las, algumas espécies florestais indicadas para recuperação desses locais, a tolerância ao frio, os tratos culturais aplicáveis na silvicultura de nativas, e os atributos morfológicos e fisiológicos de monitoramento do crescimento dessas espécies.

Na sequência, são apresentados três capítulos temáticos, redigidos na forma de artigos científicos, elaborados para responder o objetivo geral da tese. O primeiro capítulo enfoca a tolerância e o potencial de resiliência de seis espécies florestais à geada; o capítulo seguinte

aborda o desenvolvimento silvicultural de quatro espécies nativas conduzidas a campo a partir de mudas produzidas em diferentes tipos de recipientes e na presença ou ausência de adubação verde; e o terceiro capítulo trata da silvicultura de seis espécies arbóreas implantadas com diferentes tipos de fertilizantes e presença/ausência de cobertura do solo, em plantio de restauração no Sul do Brasil.

1.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o desenvolvimento de seis espécies arbóreas nativas, considerando mudas produzidas em diferentes recipientes, plantios com distintas adubações e presença ou ausência de cobertura no solo, no restabelecimento de áreas alteradas, na região Sul do Bioma Mata Atlântica.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a tolerância e o potencial de resiliência à geada de *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* em plantio de recuperação de mata ciliar;
- Avaliar a sobrevivência após plantio a campo de *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*;
- Identificar, em plantio no campo, a influência do tipo de recipiente utilizado na produção de mudas e o uso de adubação verde sobre os atributos morfológicos e fisiológicos de *C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*;
- Identificar a influência do tipo de adubação e uso de cobertura morta no solo sobre os atributos morfológicos e fisiológicos de *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATA ATLÂNTICA E A FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL

As florestas possuem grande importância para o equilíbrio dos ecossistemas, conservação da biodiversidade vegetal e animal e proteção dos recursos naturais (solo, água, ar, entre outros). No Brasil, destaca-se o Bioma Mata Atlântica, que é considerado um *hotspot* mundial de biodiversidade devido à heterogeneidade em sua composição, abrigando elevada riqueza e diversidade de espécies, bem como grande número de espécies endêmicas (TABARELLI et al., 2005), que habitam as diferentes formações florestais que o compõem. A pressão antrópica sobre esse Bioma reduziu a cobertura original para menos de 12%, ocasionando a intensa fragmentação das áreas remanescentes (RODRIGUES et al., 2009), o que compromete a conservação da biodiversidade (CALMON et al., 2011).

Entre as diversas formações que compõe a Mata Atlântica, citam-se as Florestas Estacionais. Na região noroeste e central do Rio Grande do Sul (RS) são encontrados remanescentes de Floresta Estacional Decidual, os quais se caracterizam pela deciduidade do componente arbóreo, determinada pela sazonalidade climática e por variações ambientais locais (LEITE; KLEIN, 1990). Tomando como base essa característica da tipologia, no Estado, a mesma foi redefinida por Schumacher et al. (2011) como Floresta Estacional Subtropical, pelo fato da queda das folhas do estrato superior ocorrer em virtude das baixas temperaturas no inverno, e não pelo déficit hídrico, como na região central do Brasil.

Conforme Reitz, Klein e Reis (1983), na Depressão Central, essa formação encontra-se inserida nas encostas da fralda da Serra Geral e nos terrenos mais baixos e suavemente ondulados ao longo das margens dos rios. Associado a esses locais, essa formação pode ser evidenciada ocorrendo em diversos tipos de solos, os quais apresentam distintas características químicas (fertilidade) e físicas (profundidade). Nesse sentido, Ribeiro e Walter (1998) relataram a ocorrência de remanescentes em solos desenvolvidos de alta e média fertilidade, mas também eventualmente em afloramentos rochosos, bem como em solos de outras origens.

Essa formação, segundo o Inventário Florestal Contínuo do RS, ocupa 23,8% da área total coberta com florestas naturais no Estado (RIO GRANDE DO SUL, 2002). Na região central do estado do RS, estudos abordando a estrutura da Floresta Estacional Subtropical, destacam a presença de espécies como *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg. (laranjeira-do-mato), *Allophylus edulis* (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk. (chal-chal),

Casearia sylvestris Sw. (carvalhinho), *Chrysophyllum marginatum* (Hook. & Arn.) Radlk. (aguaí), *Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill (guajuvira), *Cupania vernalis* Cambess. (camboatá-vermelho), *Luehea divaricata* Mart. & Zucc. (açoita-cavalo), *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (canela-preta), *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (angico-vermelho), *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs (branquilho), *Trichilia clausenii* C. DC. (catiguá) e *Trichilia elegans* A. Juss (pau-de-ervilha) (ALMEIDA et al., 2015; CALLEGARO; ARAUJO; LONGHI, 2014; MARCUZZO; ARAUJO; LONGHI, 2013; SCIPIONI et al., 2010). Essas espécies ocupam o dossel da floresta e/ou apresentam elevada densidade e frequência no subosque dessa formação.

Por outro lado, espécies como *Eugenia involucrata* DC. (cerejeira) e *Inga vera* Willd (ingá-banana) são espécies que ocorrem na floresta com menor frequência (ARAUJO et al., 2004; BUCKE et al., 2004), assim como *S. terebinthifolius* Raddi (pimenteira) (BIANCHIN; BELLÉ, 2013). A primeira espécie, apesar de sua menor cobertura, apresenta características funcionais importantes para atração da fauna, enquanto as outras duas, além dessa função, apresentam potencial para recobrimento da área, em ambientes mais abertos.

Entretanto, ressalta-se que somente a representatividade dessas em um ecossistema de referência não garante o seu estabelecimento em ambientes degradados, tendo em vista as limitações ambientais encontradas. Nesse sentido, torna-se imprescindível a realização de pesquisas envolvendo a silvicultura de nativas em tais áreas, o que possibilitará a indicação de espécies com maior confiança.

2.2 AS MATAS CILIARES E A NECESSIDADE DE RECUPERAÇÃO

As matas ciliares são caracterizadas pela vegetação existente no entorno de nascentes, reservatórios de água naturais e artificiais, e demais cursos d'água (BRASIL, 2012). Essas áreas apresentam importante função ambiental, destacando-se o papel na proteção dos recursos hídricos, mantendo a qualidade da água, pois atuam como um filtro de poluentes e sedimentos (KAGEYAMA; GANDARA, 2009). Assim, segundo Castro, Mello e Poester (2012), as matas ciliares desempenham relevante função ecológica para a qualidade de vida das populações locais e da bacia hidrográfica.

Em termos legais, a legislação federal definiu que a mata ciliar possui a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, bem como proteger o solo e assegurar o bem estar das populações

humanas (BRASIL, 2012). Na paisagem, as matas ciliares formam corredores ecológicos, interligando os fragmentos que se encontram isolados, servem de abrigo e fonte de alimento à fauna silvestre, possibilitam trocas gênicas, conservação da diversidade (fauna e flora) e a perpetuação dessas populações (BRANCALION et al., 2010).

Dada a sua importância para a manutenção dos ecossistemas, nesses ambientes, o Código Florestal Brasileiro estabeleceu a criação das Áreas de Preservação Permanente (APP), onde a intervenção ou supressão da cobertura vegetal original só é permitida sob licença do órgão ambiental competente para a construção de obras de utilidade pública e/ou interesse social (BRASIL, 2012). Apesar de serem “protegidas” pela legislação federal, muitas áreas ciliares encontram-se degradadas ambientalmente, e requerem ações visando o restabelecimento de sua estrutura e funcionalidade. Nesse caso, pode-se fazer uso de diversas técnicas de restauração florestal, para iniciar ou potencializar a recuperação de um ambiente.

As diferentes técnicas podem estar centradas no potencial de resiliência natural do ecossistema, com mínima interferência antrópica, tais como a nucleação (*topsoil*, transposição da serapilheira, de galharia, chuva de sementes e uso de poleiros naturais e artificiais), semeadura direta, transplante de plântulas e condução da regeneração natural (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009a). Por outro lado, outras demandam acelerar a recuperação mediante o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas, combinando diferentes grupos ecológicos (pioneiras e não pioneiras) e funcionais (leguminosas e não leguminosas) (RODRIGUES; GANDOLFI, 2009; RODRIGUES et al., 2009). Como benefícios, os plantios proporcionam, além do rápido recobrimento da área, a conservação do solo, da água e o sequestro de carbono (GAZELL et al., 2012), e a catalisação da regeneração da floresta (PARROTTA; TURNBULL; JONES, 1997).

A escolha da (s) técnica (s) mais apropriada (s) para recuperação de um ambiente deve levar em consideração as peculiaridades de cada área como: condições edáficas, presença de plantas invasoras agressivas, potencial de resiliência do ambiente, distância da fonte de propágulo, sazonalidade climática e pluviométrica. Tomando como base essas premissas, o plantio de mudas de espécies arbóreas é o método recomendado quando as áreas apresentam intensa degradação e baixa resiliência natural (HOLL; AIDE, 2011; RODRIGUES et al., 2011).

Os plantios com mudas de espécies arbóreas nativas podem ser conduzidos mediante a combinação simultânea e/ou intercalada de espécies regionais com diferentes características ecológicas e funcionais (preenchimento e diversidade; leguminosas e não leguminosas), visando simular o processo sucessional natural (BRANCALION et al., 2009). Paralelamente,

na escolha dessas espécies deve-se considerar características relacionadas ao seu grupo sucessional, como demanda lumínica, crescimento, ciclo de vida e síndromes de dispersão (RODRIGUES; GANDOLFI, 2009).

As espécies pertencentes ao grupo de preenchimento (pioneiras, do início da sucessão natural) têm como função recobrir e sombrear rapidamente a área, reduzindo a ocupação por gramíneas invasoras e possibilitando a modificação do ambiente para o estabelecimento dos indivíduos do grupo de diversidade. Essas espécies possuem como principais características: rápido crescimento, cobertura de copa com grande densidade foliar e potencial de ciclagem de nutrientes. Com relação ao grupo de diversidade, esse é composto por espécies que apresentam desempenhos sucessionais distintos (secundárias e clímax) (BRANCALION et al., 2009).

Ao combinar espécies que apresentem características distintas de crescimento, cobertura de copa, época de floração e frutificação, entre outras, ameniza-se a competição entre os indivíduos plantados, visto que esses apresentam distintas demandas hídricas, nutricionais e lumínicas. Além disso, a fauna local é beneficiada, com alimento em distintas épocas do ano, favorecendo a dispersão zoocórica. Assim, nesses locais, a introdução de espécies nativas atrai a fauna, em especial polinizadores e dispersores naturais, contribuindo com alimento, locais para nidificação e refúgio de predadores (CATTERALL et al., 2012) e, conseqüentemente, com a regeneração no subosque.

Contudo, elencar espécies potenciais para utilização em programas de restauração passa a ser uma tarefa difícil de ser realizada, principalmente, quando se busca informações sobre o comportamento silvicultural das espécies florestais arbóreas nativas, que ainda é desconhecido para muitas espécies. Esse fato também foi evidenciado por Filho et al. (2002), na tentativa de elaborar uma lista de espécies recomendadas para a restauração da Mata Atlântica, os quais relataram dificuldade em caracterizar algumas espécies, pois as mesmas não apresentavam informações na literatura e/ou não eram do conhecimento pessoal dos autores.

Assim, a intensificação de pesquisas considerando as espécies nativas, além de fornecer informações sobre comportamento silvicultural das mesmas, especialmente aquelas com potencial para recuperação de áreas, possibilitará a redução dos custos da restauração, mediante escolha adequada das espécies, para determinados ambientes e regiões.

2.3 ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS INDICADAS PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS RIPÁRIAS

Apesar da riqueza florística das diferentes tipologias florestais, o cultivo de espécies nativas ainda é restrito, devido, principalmente, às poucas informações técnicas disponíveis. Ferretti e Britez (2005) descreveram que a seleção de espécies a serem utilizadas na restauração, deve considerar além do estudo da flora regional, a sua silvicultura, envolvendo desde a produção das mudas no viveiro, bem como o seu desenvolvimento no campo.

Na Floresta Estacional Subtropical, Marcuzzo, Araujo e Gasparin (2015) identificaram espécies potenciais para o restabelecimento de áreas, mas essas ainda dependem de informações que permitam ao produtor utilizá-las com mais confiança de êxito no plantio. Nesse sentido, espécies como *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentam relevância na formação das matas da tipologia em estudo, tendo em vista suas funcionalidades na ciclagem de nutrientes, associação simbiótica, suprimento de alimento aos polinizadores e dispersores, entre outras (BACKES; IRGANG, 2009; CARVALHO 2003, 2006, 2008; LORENZI, 2008).

2.3.1 *Casearia sylvestris*

C. sylvestris, espécie conhecida popularmente como carvalinho, chá-de-bugre, guaçatunga, cafezeiro-do-mato, entre outros, pertence à família Salicaceae (BACKES; IRGANG, 2009). Segundo Cavallari et al. (2010), a espécie apresenta ampla distribuição geográfica, sendo encontrada da Bahia ao Rio Grande do Sul e em alguns países como México, Argentina e Uruguai.

O carvalinho apresenta-se como árvore perenifólia, cujos indivíduos adultos podem atingir 20 metros de altura e 40 centímetros de diâmetro à altura do peito (DAP) (CARVALHO, 2006). Quanto ao grupo ecológico ou sucessional, pode ser classificada como pioneira (DIAS et al., 1998) a secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999).

Quanto às características silviculturais, foi considerado como espécie esciófila, tolerante a baixas temperaturas, sem dominância apical definida, com ramificação pesada, bifurcações e multitrancos (CARVALHO, 2006). Segundo esse autor, a espécie apresenta rebrota da touça, com formação de vários brotos, entretanto, a copa formada é ampla e fechada, servindo como abrigo à avifauna. A floração e a frutificação variam conforme a

região, mas a floração predomina nos meses de julho a outubro, enquanto a frutificação ocorre de setembro a janeiro (BACKES; IRGANG, 2009).

Conforme Carvalho (2006), *C. sylvestris* é recomendada para recuperação de ambientes ripários, suportando inundações e encharcamento. Aliado a isso, apresenta importante função ecológica para alimentação da avifauna, devido ao consumo de seus frutos, sendo uma das poucas espécies florestais melíferas no inverno (BACKES; IRGANG, 2009). Também possui potencial paisagístico para arborização de ruas (CARVALHO, 2006) e potencial medicinal, pois apresenta propriedade cicatrizante, antisséptica, antimicrobiana, hemostática e depurativa do sangue, sendo empregada para diversas finalidades, entre essas como antiofídico (FERREIRA et al., 2011).

2.3.2 *Cupania vernalis*

C. vernalis pertence à família Sapindaceae, sendo conhecida como camboatá-vermelho, arco-de-peneira, camboatá e cuvata (BACKES; IRGANG, 2009). A espécie pode ser encontrada naturalmente, no Brasil, em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo até o Rio Grande do Sul, em quase todas as formações florestais (LORENZI, 2008).

O camboatá-vermelho apresenta-se na forma de árvore perenifólia, cujos indivíduos adultos, podem atingir 25 m de altura e 80 cm de DAP. A espécie pertence ao grupo ecológico das secundárias iniciais a secundárias tardias (CARVALHO, 2006). Silviculturalmente, foi considerado como espécie esciófila, além de tolerante a baixas temperaturas, com crescimento monopodial, boa desrama natural e brotação vigorosa de touça. A floração predomina nos meses de março a agosto e a frutificação de setembro a dezembro (BACKES; IRGANG, 2009). Para essa espécie também existem poucos dados de crescimento, sendo encontrado em plantios (4 m x 3 m) de um ano, no Paraná, em Latossolo Vermelho distroférrico, indivíduos com altura média de 45 centímetros (CARVALHO, 2006).

Essa espécie possui interesse ecofisiológico e econômico, podendo ser utilizada tanto na restauração de ambientes ripários (CARVALHO, 2006), no paisagismo, na arborização urbana (LORENZI, 2008) e no enriquecimento de florestas degradadas (BACKES; IRGANG, 2009). Além disso, por apresentar flores melíferas e excelente produção de frutos, atraem à fauna silvestre, em especial as aves, as quais utilizam os frutos na alimentação (BACKES; IRGANG, 2009), destacando-se também que a época de sua floração coincide com um período crítico de fonte de alimento para abelhas. A espécie também apresenta potencial medicinal, sendo utilizada na medicina popular contra asma e tosse convulsivas (LIMA-

JÚNIOR et al., 2005), sendo relatado ainda a presença de constituintes antifúngicos no extrato da casca do caule (CAVALCANTI et al., 2001) bem como propriedades anti-inflamatórias (NAPOLITANO et al., 2005).

2.3.3 *Eugenia involucrata*

E. involucrata, pertence à família Myrtaceae e é popularmente denominada de cerejeira-do-mato, cerejeira-do-rio-grande, cerejeira, ibaíba ou ivaí (BACKES; IRGANG, 2009), podendo ser encontrada naturalmente no Brasil, desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (DONADIO; MÔRO; SERVIDONE, 2002). Segundo Backes e Irgang (2009), a espécie apresenta-se como árvore perenifólia de pequeno porte, cujos indivíduos atingem até 20 m de altura e 40 cm de diâmetro.

A cerejeira-do-mato pertence ao grupo ecológico das secundárias tardias (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999). Segundo Backes e Irgang (2009), a floração ocorre de setembro a novembro e a frutificação de outubro a dezembro. Com relação às características silviculturais, é classificada como esciófila e seletiva higrófila, tolerando baixas temperaturas, mas requer solos bem drenados e de fertilidade química alta (CARVALHO, 2008). Dados referentes ao comportamento dessa espécie em plantios são escassos, contudo, mesmo em estudos envolvendo a produção de mudas em viveiro, seu crescimento é considerado lento (RORATO et al., 2016).

Conforme Lorenzi (2008), a cerejeira-do-mato apresenta importância ecológica por possuir flores melíferas e frutos consumidos pela fauna. Devido a isso, a espécie é indicada para o plantio em áreas de regeneração com função de preservação permanente (BACKES; IRGANG, 2009). Por ser uma espécie rústica, de copa ampla e por não se desenvolver tanto em altura, tem potencial como árvore ornamental, podendo também ser recomendada para arborização urbana (CARVALHO, 2008). Destaca-se entre as frutíferas nativas, pois os frutos são próprios para consumo humano, sendo consumidos *in natura* ou utilizados na elaboração de doces, geleias e licores (FRANZON; RASEIRA, 2006). Adicionalmente, a espécie apresenta potencial medicinal antiúlcera, antidiarreica, digestiva (SAUSEN et al., 2009) e antioxidante (MARIN et al., 2008).

2.3.4 *Inga vera*

I. vera, conhecido popularmente como ingá-banana, ingá, ingá-do-brejo, ingá-de-beira-de-rio, pertence à família Fabaceae (BACKES; IRGANG, 2009; CARVALHO, 2008). A espécie ocorre desde o Rio Grande do Sul até Minas Gerais, principalmente na Floresta Pluvial Atlântica (FIGLIOLIA; KAGEYAMA, 1994).

Conforme Carvalho (2008), essa espécie pode atingir 25 m de altura e 75 cm de DAP, sendo classificada como decídua e heliófila, medianamente tolerante a geadas no estágio jovem. A floração e a frutificação variam conforme a região, podendo-se verificá-las no RS nos meses de dezembro a janeiro e de janeiro a fevereiro, respectivamente (BACKES; IRGANG, 2009).

De acordo com Lorenzi (2008) a espécie é pioneira ou inicial da sucessão, e quanto ao seu crescimento, o mesmo é considerado moderado, podendo atingir uma produção volumétrica de até $19,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos dez anos de idade (CARVALHO, 2008).

A espécie é típica de matas ribeirinhas, sendo indicada na recuperação desses ambientes. Além disso, apresenta sistema radicular pivotante, superficial e com numerosas raízes secundárias, podendo ser utilizada no controle da erosão, protegendo o solo contra a degradação (BILIA; BARBEDO, 1997). Sua importância ecológica também está relacionada ao fato de ser uma espécie frutífera importante para fauna (BACKES; IRGANG, 2009) além de possuir flores melíferas (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

2.3.5 *Parapiptadenia rigida*

P. rigida, conhecida popularmente como angico-vermelho, angico, angico-verdadeiro, gुरुcaia, angelim, entre outros, pertence à família Fabaceae (LORENZI, 2008). A espécie apresenta-se distribuída geograficamente, no Brasil, no Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul (BACKES; IRGANG, 2009).

Segundo Backes e Irgang (2009), a espécie caracteriza-se como árvore de grande porte, caducifólia, atingindo cerca de 35 m de altura e até 1,0 m de diâmetro, cuja floração ocorre nos meses de setembro a março e a frutificação de março a novembro. A mesma caracteriza-se como semi-heliófila (ORTEGA, 1995), tolerante a baixas temperaturas, contudo não apresenta capacidade de rebrota, apresentando plantios com crescimento heterogêneo, especialmente em altura, diâmetro e forma, e crescimento variando de lento a moderado (CARVALHO, 2003).

Quanto ao grupo ecológico, *P. rigida* foi classificada como pioneira (BACKES; IRGANG, 2009), secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999) a secundária tardia (LONGHI, 1995).

Segundo Backes e Irgang (2009), o angico-vermelho é uma espécie capaz de se estabelecer a campo, ideal para áreas que estão sendo recuperadas e de preservação permanente. Além disso, possui flores atrativas, e com isso contribui como fonte de alimento para polinizadores (ALMEIDA et al., 2010). Pode ser utilizada em locais com ausência de inundações ou com inundações periódicas de curta duração (CARVALHO, 2003), e também possui associações simbióticas com fungos micorrízicos e bactérias que melhoram a qualidade do solo (PATREZE; CORDEIRO, 2004).

A espécie apresenta características ornamentais que possibilitam sua utilização para fins paisagísticos (CARVALHO, 2003), potencial medicinal com propriedades anti-inflamatória, antimicrobiana (SOUZA et al., 2004), antifúngica (FENNER et al., 2006) e potencial madeireiro pela qualidade da madeira (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

2.3.6 *Schinus terebinthifolius*

S. terebinthifolius, conhecida como pimenteira, aroeira-pimenteira, aroeira-vermelha, aroeira-branca, entre outros, pertence à família Anacardiaceae, e ocorre no Brasil, do Rio Grande do Sul até Pernambuco e Mato Grosso do Sul (BACKES; IRGANG, 2009).

Os indivíduos de pimenteira são perenifólios e apresentam porte variado, podendo atingir 15 m de altura e 60 cm de DAP na idade adulta (CARVALHO, 2003). Segundo esse autor, a espécie é heliófila e quanto à susceptibilidade a geada, pode ser influenciada pela intensidade do inverno, sendo considerada tolerante a sensível no primeiro ano de plantio, apresentando queima dos brotos terminais. A espécie floresce nos meses de novembro a março e frutifica de dezembro a julho (BACKES; IRGANG, 2009).

Com relação ao grupo ecológico, a espécie pode ser considerada pioneira (BACKES; IRGANG, 2009) a secundária inicial (FERRETTI et al., 1995). Além disso, apresenta crescimento moderado, com altas taxas de sobrevivência (67 a 100%) em plantios experimentais (CARVALHO, 2003).

Conforme Carvalho (2003), a pimenteira é indicada para recuperação de áreas degradadas, visto ser uma das espécies mais procuradas pela avifauna, sendo as aves as maiores dispersoras. Devido ao seu caráter rústico e pioneiro, Carvalho (2003) também recomenda a espécie para recuperação de solos pouco férteis, rasos e pedregosos. A

pimenteira possui importância ecológica por apresentar flores melíferas e frutos apreciados também por formigas (BACKES; IRGANG, 2009) e potencial paisagístico (CARVALHO, 2003). Também apresenta propriedades medicinais antifúngicas (JOHANN et al., 2007) e antibacterianas (LIMA et al., 2006) e potencial aromático, sendo utilizada especialmente como condimento na culinária nacional e internacional (CORADIN, SIMINSKI, REIS, 2011).

2.4 TOLERÂNCIA AO FRIO EM PLANTAS

No extremo sul do Brasil, as massas de ar polar proveniente do continente Antártico proporcionam intensas ondas de frio, com temperaturas atingindo valores negativos, caracterizando a incidência de geadas (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008). As geadas podem ser classificadas em outonais, invernais e primaveris (SOUZA et al., 2011) e segundo esses autores, no estado do RS, predomina a incidência de geadas tardias (primaveris) em relação às precoces (outonais).

Os danos acarretados pelas baixas temperaturas podem ser considerados como um dos principais estresses abióticos que desafiam o crescimento das culturas (MEGHA; BASU; KAV, 2014). Estudos considerando a susceptibilidade das espécies as geadas, por influenciarem diretamente na produtividade, são comumente evidenciados em cultivos agrícolas, culturas energéticas e em algumas culturas permanentes de importância econômica (ANDRADE et al., 2008; CARON et al., 2011; DALMAGO et al., 2010; HIGA et al., 2000). Entretanto, pesquisas envolvendo esse fenômeno meteorológico em espécies arbóreas nativas com potencial ecológico são escassas, especialmente envolvendo mudas em áreas em processo de restauração (CURRAN; REID; SKORIK, 2010; SCOWCROFT et al. 2000).

Fisiologicamente, quando exposto a temperaturas abaixo de 0°C, o vegetal reduz as atividades metabólicas (HIGA et al. 2000). Adicionalmente, quando ocorre a incidência de geadas, a água que se encontra nos espaços celulares pode congelar, formando cristais de gelo nos espaços extracelulares (TAIZ; ZEIGER, 2002). Com isso, a água do protoplasma celular é direcionada para os espaços extracelulares, devido à diferença de potencial de água. Nesse momento, acontece o dano, pois a célula perde água e ocorre a desidratação das mesmas.

A capacidade de tolerar o estresse proporcionado pelo frio envolve características genéticas das plantas, mas também podem ocorrer alterações metabólicas, as quais são induzidas por modificações ambientais que antecedem as primeiras geadas (LARCHER, 2000). Nesse sentido, além dos fatores genéticos, em regiões com incidência de geadas

regulares e intensas, a tolerância envolve alterações fisiológicas, sendo relatado aumento na concentração de fosfolípidos estáveis nas biomembranas, acumulação de açúcares e oligossacarídeos, aminoácidos e poliaminas (LARCHER, 2000), bem como aumento nas concentrações de ácido abscísico endógeno em folhas (TAIZ; ZEIGER 2002).

Essas alterações fisiológicas podem surgir quando as plantas são submetidas a modificações ambientais, nesse caso relacionadas com a temperatura. Esse período em que ocorrem mudanças metabólicas ocorre durante o outono ou nas primeiras semanas de inverno, sendo denominado de aclimação ou rustificação (BILDANOVA; SALINA; SHUMNY, 2013). Entretanto, não são todas as plantas e/ou espécies que apresentam a capacidade de suportar as baixas temperaturas (LARCHER, 2000), sendo fundamental caracterizar a tolerância ao frio e o potencial de resiliência das diferentes espécies, em especial às florestais nativas.

2.5 SILVICULTURA DE NATIVAS: TRATOS CULTURAIS

As restrições ambientais encontradas em áreas degradadas atuam como filtros que dificultam a colonização inicial pelas espécies no campo. Conforme Campoe, Stape e Mendes (2010) em áreas que se realiza o plantio de mudas, as condições dos sítios encontram-se altamente modificadas pelo histórico de uso, podendo comprometer o estabelecimento das espécies, principalmente, no primeiro ano de plantio.

Os plantios com nativas, normalmente, caracterizam-se por utilizarem técnicas silviculturais de baixo impacto (CAMPOE et al., 2014). Nesses casos, os solos recebem pouco ou nenhum revolvimento/preparo, fertilização e controle da matocompetição. Entretanto, a utilização de práticas silviculturais intensivas, semelhante às utilizadas em reflorestamentos comerciais está demonstrando resultados importantes no aumento das taxas de sobrevivência e crescimento durante os anos iniciais do estabelecimento das plantações (CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015).

Inicialmente, para se alcançar êxito na implantação de povoamentos florestais, sejam esses com fins ambientais ou produtivos, as características do sítio, clima local, escolha das espécies e aspectos relacionados com a qualidade das mudas a serem utilizadas merecem destaque (FERRAZ; ENGEL, 2011). Entre os fatores envolvidos na produção de mudas em viveiro cita-se o tipo de recipiente utilizado, e no Brasil, conforme Lopes, Amaral e Novaes (2014) há ampla utilização de tubetes de polipropileno no sistema de produção.

Os tubetes estão disponíveis em diferentes tamanhos (volume de recipiente) e apresentam estrias internas que facilitam a condução do sistema radicular. Entretanto, pela presença de paredes rígidas, podem proporcionar deformações radiciais (BARROSO et al., 2000), as quais juntamente com o tamanho reduzido desse tipo de recipiente, poderão comprometer o estabelecimento das mudas no campo.

Assim, uma alternativa à produção de mudas refere-se à utilização de recipientes maiores confeccionados em material flexível como os sacos de polietileno. Esses também estão disponíveis em diferentes dimensões, e conforme Hahn et al. (2006) requerem um investimento menor para produção. A maior disponibilidade de substrato a ser explorado pelo sistema radicular em recipientes maiores influencia diretamente a quantidade de água e nutrientes disponíveis para o crescimento das mudas (BRACHTVOGEL; MALAVASI, 2010). Com maior disponibilidade de recursos, as mudas podem incrementar o crescimento quando comparadas com recipientes de dimensões menores.

Além disso, no momento da produção das mudas bem como no plantio, a adubação aplicada, denominada adubação de base, possui importância no crescimento e desempenho das mudas de espécies florestais a campo. A fertilização do solo pode ser realizada utilizando fertilizantes orgânicos, químicos (NAVE et al., 2009) e adubação verde.

Os adubos orgânicos compreendem resíduos de origem animal ou vegetal (PAULUS; MULLER; BARCELLOS, 2000). Conforme Galvão, Miranda e Santos (1999), a utilização de adubação orgânica de origem animal como fonte nutricional para as plantas, seja para espécies agrônomicas ou florestais, pode oferecer economia aos produtores pelo seu baixo custo ou disponibilidade do material na propriedade. Além disso, segundo esses autores, a utilização desses materiais favorece a fertilidade do solo, pois proporciona acúmulo de nitrogênio orgânico, aumentando seu potencial de mineralização e disponibilidade para as plantas.

Conforme Paulus, Muller e Barcellos (2000), a utilização dos resíduos orgânicos, além de melhorar as características químicas, beneficia também as propriedades físicas e biológicas do solo, melhorando a estrutura, aeração, aumentando a matéria orgânica e a infiltração da água das chuvas, e ativando a microbiota do solo. Nesse sentido, Warren e Fonteno (1993) evidenciaram aumento linear na capacidade de troca de cátions (CTC) e na disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, com o aumento das doses de dejetos aplicados ao solo, além de melhorias na agregação, resistência e estrutura do solo, as quais apresentam influência direta na porosidade total e disponibilidade de água às plantas.

Entre os dejetos de origem animal, destaca-se o uso de esterco bovino, os quais conforme Weinärtner, Aldrighi e Medeiros (2006), proporcionam o desenvolvimento de organismos antagonistas de fungos causadores de doenças no solo. Contudo, sua utilização direta não é recomendada, pois conforme Freitas (2008), quanto maior o tempo de fermentação dos dejetos, melhor a qualidade do produto orgânico e menor o seu potencial poluidor, sendo necessário curtir o esterco antes do seu uso. Para espécies florestais nativas utilizadas em plantios de restauração na Mata Atlântica, Nave et al. (2009) recomendaram a utilização de cinco a 10 litros de esterco de curral misturado ao solo como fonte de adubação orgânica às mudas implantadas no campo.

Na adubação química são comumente utilizados os fertilizantes solúveis, com adição de elementos essenciais (macro e micronutrientes) ao solo, e os pouco solúveis, como os fertilizantes de liberação controlada (FLC) (VALERI; CORRADINI, 2005). Conforme Jacobs e Landis (2009), esse fertilizante, devido à liberação contínua de nutrientes, oferece praticidade, reduzindo a possibilidade de perdas por lixiviação, mantendo nutrientes disponíveis à planta durante um período de tempo pré-estabelecido, conforme a característica do fertilizante.

Conforme Bennett (1996), os FLC são classificados em dois grupos, os peletizados, que compreendem os compostos de baixa solubilidade, na forma de “pellets”, cuja liberação dos nutrientes depende da ação microbiana, e os quimicamente alterados e recobertos, onde estão incluídos os fertilizantes modificados de maneira a converter parte dos nutrientes em formas insolúveis em água, liberados ao meio de forma gradativa.

Dessa forma, os fertilizantes recobertos incluem compostos solúveis envolvidos por uma membrana semipermeável (BENNETT, 1996). Esses fertilizantes representam uma tecnologia avançada, apresentando-se na forma de cápsulas, revestidas com resina, as quais liberam, gradativamente, os nutrientes, sincronizando a necessidade nutricional das plantas com a disponibilidade dos mesmos no solo (VALERI; CORRADINI, 2005).

Outra alternativa bastante viável e eficiente é a utilização da adubação verde. Essa prática é antiga, e, conforme Erasmo et al. (2004), pode ser definida como a incorporação ao solo de material vegetal não decomposto, produzido ou não no local. Dessa forma, a adubação verde pode ser realizada mediante o plantio de determinadas plantas, de forma alternada ou intercalada com as culturas de interesse (WUTKE et al., 2007), podendo ou não ser incorporada ao solo (CALEGARI et al., 1993).

Segundo Wutke et al. (2007), as espécies destinadas a atuarem como adubos verdes podem ser de cultivo anual ou ainda com ciclo de vida longo, se mantendo vivas por vários

anos. Entre as espécies mais difundidas para essa finalidade, destacam-se aquelas da família Fabaceae (leguminosas). As raízes dessas plantas fixam o nitrogênio do ar, por meio de bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, formando nódulos e enriquecendo o solo com esse nutriente, fundamental para o crescimento e produção das culturas (ALVARENGA et al., 1995).

O tombamento ou incorporação do material utilizado como adubo verde deve ser feito na época da floração das mesmas. Segundo Souza et al. (2012) esse é o momento ideal devido à máxima produção de matéria verde, condição de decomposição apropriada e maior teor de nitrogênio. Durante a floração, as folhas e talos tenros, que representam partes facilmente decompostas, são utilizadas imediatamente pelos microrganismos, disponibilizando amônia e nitrato.

Além de melhorias nas características químicas, Matheis, Azevedo e Filho (2006), relataram que o uso de adubação verde proporciona alterações desejáveis também nos atributos físicos e biológicos do solo. A técnica contribui para a manutenção da microbiologia, fundamental para a ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo, beneficiando diretamente a cultura principal (WUTKE et al., 2007).

Outra prática refere-se à possibilidade de uso de cobertura morta (*mulching*), que consiste em cobrir o solo com capim, palha, casca, entre outros materiais, protegendo o mesmo das adversidades do clima. O uso de cobertura morta é recomendado para diversos tipos de solos, podendo-se citar como benefícios a proteção contra o impacto das gotas de chuva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), minimização do efeito da matocompetição, redução da erosão e lixiviação de nutrientes, além de maior umidade. Além disso, Bragagnolo e Mielniczuk (1990) afirmaram que a presença de cobertura sobre o solo reduz a perda de água por evaporação, diminuindo as oscilações da temperatura, dependendo da insolação e da umidade do mesmo.

2.6 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS PARA MONITORAR O CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES

2.6.1 Atributos morfológicos de crescimento

A altura e o diâmetro do coleto são tipicamente os melhores indicadores da performance no plantio (RITCHIE et al., 2010). A altura da parte aérea permite uma boa estimativa da capacidade fotossintética e da área de transpiração da planta (JOSÉ; DAVIDE;

OLIVEIRA, 2005; RITCHIE et al., 2010). Com relação ao diâmetro do coleto, Gomes e Paiva (2011), relataram que esse é um dos atributos mais relevantes para estimar a sobrevivência e está correlacionado com o sistema radicular. Ambos os atributos são facilmente obtidos por método não destrutivo, entretanto, é interessante correlacioná-los com outras variáveis, que expressem determinada condição da planta. Pallardy (2008) destacou que essas medições são subsídios para obtenção do incremento anual do indivíduo em determinada área. Porém, também as informações relativas ao crescimento das raízes, tronco, ramos e folhas ajudam a compreensão de como as práticas culturais interferem no crescimento.

Nesse sentido, as medições de altura e diâmetro do coleto, por exemplo, são de grande utilidade, pois não são destrutíveis, podendo ser mensuradas em várias ocasiões, durante o experimento (BENINCASA, 2003). Essas medidas quando obtidas no tempo, podem gerar a taxa de crescimento absoluto e relativo, as quais indicam o crescimento em determinado período. Entretanto, independente da forma de aplicação, a análise de crescimento facilita a compreensão do comportamento das espécies, e suas respostas frente a fatores bióticos e abióticos.

Além dessas, as determinações de matéria seca das plantas (parte aérea e radicular), embora sejam métodos destrutivos, fornecem informações relacionadas com a rusticidade das plantas (GOMES; PAIVA, 2011), e o seu potencial de crescimento. Entretanto, em condições de campo, a análise do sistema radicular é dificultada, especialmente devido a grande quantidade de raízes, tempo e mão de obra para coleta e separação, além da grande variabilidade de distribuição das raízes no solo (GONÇALVES; MELLO, 2005; MUÑOZ-ROMERO et al., 2010).

A matéria seca da parte aérea é um atributo que pode ser relacionado, indiretamente, com a capacidade fotossintética (CRUZ et al., 2010). Além disso, sua quantificação possibilita inferências sobre a produtividade, pois as folhas constituem uma das principais fontes de fotoassimilados (açúcares, aminoácidos, hormônios, entre outros) necessários para o suprimento das necessidades da planta, especialmente, quando realocam as reservas da copa para emissão de raízes (BELLOTE; SILVA, 2000; GONÇALVES et al., 2005).

A projeção de copa ou cobertura de copa também é um atributo morfológico interessante de ser obtido, sendo um método não destrutivo. Esse atributo reflete parâmetros estruturais, pois a copa controla a entrada de luz, proporciona diferentes níveis de umidade do ar e do solo e reduz o impacto das gotas de chuva sobre o solo (MELO; MIRANDA; DURIGAN, 2007). Além disso, a arquitetura das copas, ao interferir na entrada de luz solar abaixo das mesmas, reduz a invasão de gramíneas agressivas, as quais competem com as

mudas em projetos de restauração florestal, especialmente nos primeiros anos de implantação (MARTINS, 2007).

2.6.2 Atributos fisiológicos

Concomitantemente com a obtenção dos atributos morfológicos, a caracterização das respostas obtidas em campo com base em variáveis fisiológicas fornece informações importantes quanto à capacidade de estabelecimento, crescimento e plasticidade do aparato fotossintético (AFONSO et al., 2012). Tais variáveis podem ser obtidas mediante diferentes métodos, envolvendo técnicas não destrutivas (mensuradas diretamente mediante o uso de equipamentos portáteis) e também destrutivas (bioquímicas).

2.6.2.1 Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila a

A sobrevivência e o desenvolvimento estão diretamente relacionados com a atividade fotossintética dos vegetais. Para isso, os vegetais precisam captar a energia luminosa e convertê-la em compostos de carbono, os quais serão utilizados como fonte de energia para impulsionar seu crescimento.

De acordo com Taiz e Zeiger (2002), o mesófilo da folha é o tecido mais fotossinteticamente ativo das plantas superiores. Nele são encontrados inúmeros cloroplastos, os quais contêm pigmentos especializados na absorção de luz, como as clorofilas *a* (pigmento principal), clorofila *b* e os carotenoides (pigmentos acessórios) (STREIT et al., 2005).

Os pigmentos fotossintéticos absorvem a luz, na forma de chuva de fótons de diferentes frequências, em distintas regiões do espectro (TAIZ; ZEIGER, 2002). Assim, quando a luz branca incide, as clorofilas *a* e *b* absorvem luz na região do azul e vermelho (428 a 660 e 452 a 642 nm, respectivamente), e os carotenoides na região do violeta (470 nm) (LICHTENTHALER, 1987). A determinação precisa do teor de pigmentos fotossintéticos é realizada via análises bioquímicas de amostras frescas de folhas.

Após a absorção da energia luminosa, as moléculas de clorofila sofrem alterações temporárias nas suas configurações eletrônicas, passando para um nível de maior energia, denominado estado excitado, instável e de vida muito curta (TAIZ; ZEIGER, 2002). Segundo Streit et al. (2005) essa energia é dissipada por meio de três vias: dissipação fotoquímica, quando a energia de excitação é direcionada diretamente para a fotossíntese; dissipação não

fotoquímica, ou seja, dissipação da energia na forma de calor (radiação infravermelha); e fluorescência, emissão de radiação na região do visível (vermelho e vermelho distante).

Nesse sentido, a fluorescência da clorofila *a* caracteriza-se como uma via de dissipação da energia luminosa excedente, na qual ocorre a reemissão da radiação na região do visível (TAIZ; ZEIGER, 2002). Em outras palavras, a fluorescência representa a energia perdida pela planta, a qual não foi convertida em fotoassimilados (RITCHIE et al., 2010).

De acordo com Fontes et al. (2008), o estudo da fluorescência da clorofila tem sido difundido, por se tratar de um método não destrutivo que possibilita analisar qualitativa e quantitativamente a absorção e o aproveitamento da energia luminosa pelos fotossistemas, permitindo fazer inferências sobre a capacidade fotossintética das plantas. Além disso, Stirbet e Govindjeet (2011) relataram que a fluorescência da clorofila *a* têm sido utilizada para avaliar o efeito de fatores ambientais sobre o metabolismo fotossintético, podendo também ser utilizada para determinar o grau de tolerância das plantas frente aos estresses abióticos.

Nessas situações, para interpretação da fluorescência da clorofila *a*, algumas variáveis mensuradas podem ser destacadas como: fluorescência inicial (F_o); fluorescência máxima (F_m), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) (PSII), o qual representa mol de carbono fixado por mol de energia da luz absorvida; e taxa de transporte de elétrons (ETR) que mede o transporte de elétrons entre o PSII e PSI, fornecendo um indicativo da fotossíntese geral (RITCHIE et al., 2010). Essas variáveis permitem avaliar o desempenho fotossintético dos vegetais em laboratório (condições controladas) e no campo (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

2.6.2.2 Fosfatases ácidas e conteúdo de fósforo solúvel

As enzimas fosfatases ácidas (APases) (E.C.3.1.3.2) catalisam a hidrólise de uma ampla variedade de monoésteres de fosfato, liberando fosfato inorgânico (Pi) de substratos fosforilados em pH abaixo de 7,0 (VINCENT; CROWDER; AVERILL, 1992), favorecendo assim a disponibilização de fósforo às plantas.

As APases estão presentes em vários órgãos e compartimentos celulares (YONEYAMA et al., 2007) e estão envolvidas na produção, transporte e reciclagem de Pi, o qual é crucial para o metabolismo celular e para processos de transdução de energia (BOZZO; RAGHOTHAMA; PLAXTON, 2002). Essas enzimas tem suas atividades induzidas sob vários estresses, incluindo deficiência de água, salinidade e ataque de patógenos (BOZZO;

RAGHOTHAMA; PLAXTON, 2002), mas essa ativação ocorre principalmente em resposta a deficiência de Pi (DUFF; SARATH; PLAXTON, 1994).

A determinação bioquímica da APase quando realizada concomitante com o conteúdo de fósforo solúvel (Pi) possibilita diagnosticar se a ativação da enzima ocorreu devido a uma situação estressante à planta, como a deficiência de fósforo no solo ou na planta. Nesse caso, o conteúdo de fósforo solúvel será menor do que o evidenciado em situações não estressantes. Por outro lado, quando ambos os atributos apresentarem valores superiores em função de um tratamento, isso indicará que a enzima tornou-se ativa na planta a partir da disponibilidade de fósforo orgânico no solo ou decorrente do tratamento aplicado. Assim, a enzima faz a conversão do fósforo orgânico para inorgânico, forma assimilável pelas plantas, resultando em maiores valores de APase e Pi.

2.6.2.3 Estresse oxidativo e sistema antioxidante

O oxigênio (O_2) é fundamental para a manutenção da vida dos organismos aeróbicos, bem como é indispensável às funções celulares dos vegetais (BARBOSA et al., 2014). Entretanto, esse O_2 , que resulta da quebra da molécula de água para liberar elétrons ao fotossistema II e também de outras atividades metabólicas, reage e forma moléculas altamente instáveis e reativas. Essas moléculas são denominadas de Espécies Reativas de Oxigênio ou *Reactive Oxygen Species* (ROS) (TAIZ; ZEIGER, 2002). Entre as principais ROS destacam-se o oxigênio singlete (1O_2), o ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), o radical hidroxila (OH^{\bullet}) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Essas moléculas oxidativas são consideradas subprodutos do metabolismo celular, mas também podem ser induzidas por estímulos bióticos ou abióticos aos quais as plantas estão constantemente expostas quando em condições naturais (MITTLER, 2002).

Em contrapartida, o sistema antioxidante é composto por uma variedade de enzimas antioxidativas responsáveis pela degradação das ROS. Entre as principais enzimas, cita-se a superóxido dismutase (SOD), a ascorbato peroxidase (POD), a catalase (CAT), a glutathione redutase (GSH), entre outras (MITTLER, 2002). A enzima SOD realiza a conversão, por meio de reações químicas, do $O_2^{\bullet-}$ a H_2O_2 . A partir dessa molécula, outras enzimas como a POD e CAT entram no processo e realizam a conversão do H_2O_2 à H_2O .

Em condições normais, a síntese de ROS e sua degradação pelo sistema antioxidante da planta se encontra em equilíbrio. Por outro lado, o estresse oxidativo em plantas caracteriza-se quando é evidenciada elevada produção de ROS, superior a degradação pelo

sistema antioxidante, o que pode ser uma resposta da planta a fatores estressantes (patógeno, deficiência nutricional, hídrica e salinidade) (TABALDI, 2008).

Em situações normais e em condições estressantes, a ativação do sistema de defesa da planta desempenha um importante papel na neutralização das ROS. A ativação dessas enzimas reflete em menor acúmulo de ROS e, conseqüentemente, menor dano aos fotossistemas. A determinação das atividades das enzimas antioxidantes e do conteúdo de ROS é realizada via análises bioquímicas (destrutivas) de amostras frescas de folhas e/ou raízes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Quarta Colônia de Imigração Italiana, extremo sul do Bioma Mata Atlântica no Brasil.

A área de estudo do experimento 1, referente aos Capítulos 1 e 2, localiza-se na comunidade de São Cristóvão, interior do município de Nova Palma, RS (29° 22' 8,47" S e 53° 25' 5,57" W). A propriedade possui área total de 8,2 hectares, a qual se destina a atividade agrícola e pecuária. O experimento foi instalado em área de mata ciliar, pertencente a porção inicial do Arroio Bugre, com uma largura de 10 m a partir do talude do Arroio, em ambos os lados, sendo isolado com arame farpado.

O experimento 2 também encontra-se localizado na comunidade de São Cristóvão, Nova Palma, RS (29° 20' 36,25" S e 53° 26' 17,84" W). A propriedade possui área total de 10,4 hectares, onde se encontram três nascentes do Arroio Bugre. A propriedade é utilizada com cultivos agrícolas (soja e trigo), em algumas ocasiões, intercalados por curto período de pousio. O experimento 2 foi instalado no entorno da nascente principal e na porção inicial do córrego que forma o Arroio Bugre, utilizando cinco metros de largura em cada margem.

Inicialmente, para caracterização de cada área, foi realizada a amostragem do solo, com coleta de 10 amostras simples na camada de 0-20 cm, as quais deram origem a uma amostra composta. Em cada ponto, distribuído aleatoriamente ao longo das áreas experimentais, o material foi coletado com auxílio de uma pá de corte, sendo imediatamente destorroado e homogeneizado. Após, foram separadas 500 gramas para a análise química e 100 gramas para a física. A análise química completa foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solos da UFSM, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). A análise física foi realizada pelo Laboratório de Física do Solo, da UFSM, utilizando para a análise granulométrica o Método da Pipeta (GEE; BAUDER, 1986).

A interpretação dos atributos químicos do solo foi estabelecida conforme a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo (SBCS/CQFS, 2004), a qual tomou como referência as recomendações para cultivos agrícolas e silviculturais de espécies comerciais.

Os atributos químicos (fertilidade) e físicos (granulometria) do solo das áreas do experimento 1 e 2 podem ser visualizados no Apêndice A.

3.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS

Para a escolha das espécies a serem estudadas, esse trabalho tomou como base o estudo realizado por Marcuzzo (2012), que avaliou espécies potenciais à restauração de áreas degradadas no Parque Estadual Quarta Colônia. Entre aquelas que apresentaram o melhor desenvolvimento a campo, para avaliar o seu comportamento silvicultural, foram selecionadas quatro espécies pioneiras a secundárias iniciais (*Casearia sylvestris*, *Inga vera*, *Parapiptadenia rigida* e *Schinus terebinthifolius*) para compor o grupo de preenchimento e duas secundárias tardias (*Cupania vernalis* e *Eugenia involucrata*) para o grupo de diversidade.

As mudas foram produzidas com sementes coletadas em árvores selecionadas na região, buscando a máxima variabilidade genética possível na formação de cada lote de sementes. Para todas as espécies, a coleta ocorreu diretamente da árvore, quando evidenciado início da abertura espontânea (*C. vernalis*, *C. sylvestris* e *P. rigida*) ou mudança de coloração dos frutos indicando a maturação fisiológica (*E. involucrata*, *I. vera* e *S. terebinthifolius*).

Após, o material foi transportado para o Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal, do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, onde as sementes foram extraídas conforme características do fruto de cada espécie analisada. No caso de *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *P. rigida*, os frutos foram dispostos em bandejas, em ambiente sombreado, para completa abertura dos mesmos e liberação das sementes. Entretanto, para *C. vernalis*, após completa abertura dos frutos, o arilo que envolve as sementes foi removido manualmente. Já as sementes de *S. terebinthifolius* foram extraídas por maceração dos frutos em peneira, seguido da lavagem em água corrente para remoção da casca. *E. involucrata* e *I. vera*, após a imersão em água por 24 horas, procedeu-se a maceração sobre peneira e água corrente, para remoção da polpa e liberação da semente.

Os lotes de sementes de *C. sylvestris*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*, permaneceram armazenadas em câmara fria e úmida (temperatura de ± 8 °C e umidade relativa de 80%), em sacos de papel, dentro de tambores de papel Kraft, até a semeadura. Já a semeadura de *C. vernalis*, *E. involucrata* e *I. vera* foi realizada imediatamente após a formação dos lotes.

Em outubro de 2012 foi realizada a semeadura de todas as espécies utilizando tubetes cônicos de polipropileno de 180 cm³ (com oito estrias longitudinais, diâmetro interno de 52 mm e altura de 13 cm). Na produção das mesmas, foi utilizada uma mistura de substrato comercial Carolina Soil[®] (turfa *Sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK) com casca de arroz carbonizada (CAC), na proporção de 4:1

(v:v). Na adubação de base foi utilizado 6 g L⁻¹ do fertilizante de liberação controlada (FLC, *miniprill*) (NPK 18-05-09).

Posteriormente, em janeiro de 2013, parte das mudas das seis espécies florestais nativas regionais foram transplantadas. Nesse momento, o torrão das mudas (raízes envoltas no substrato) foi inserido em sacos de polietileno de 1.500 cm³ (14,5 cm de largura e 23 cm de altura, com perfurações laterais do centro à base), contendo o substrato que consistiu da mistura de substrato comercial (composição descrita anteriormente), terra de subsolo (TS) e CAC (1:1:1).

Aproximadamente 60 dias após o transplante, iniciou-se a adubação de cobertura, utilizando sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) (2,0 g L⁻¹) e cloreto de potássio (KCl) (1,5 g L⁻¹), os quais foram intercalados quinzenalmente apenas com ((NH₄)₂SO₄). Na adubação de cobertura foi distribuído cinco litros da solução para cada m² ocupado pelas mudas (VALERI; CORRADINI, 2005)

No período de crescimento, as mudas permaneceram em casa de vegetação, sendo irrigadas por aspersão durante 15 minutos (frequência de quatro vezes ao dia). Na rustificação, as mudas permaneceram em ambiente aberto, em pleno sol, sendo irrigadas por aspersão durante 15 minutos (três vezes ao dia). As mudas, tanto aquelas produzidas diretamente nos tubetes de polipropileno como também as transplantadas para sacos de polietileno, permaneceram por, pelo menos, 11 meses no viveiro. As médias de altura e diâmetro do coleto que as mudas apresentavam no momento do plantio, para os experimentos 1 e 2, podem ser observados no Apêndice B.

3.3 PLANTIO DAS MUDAS

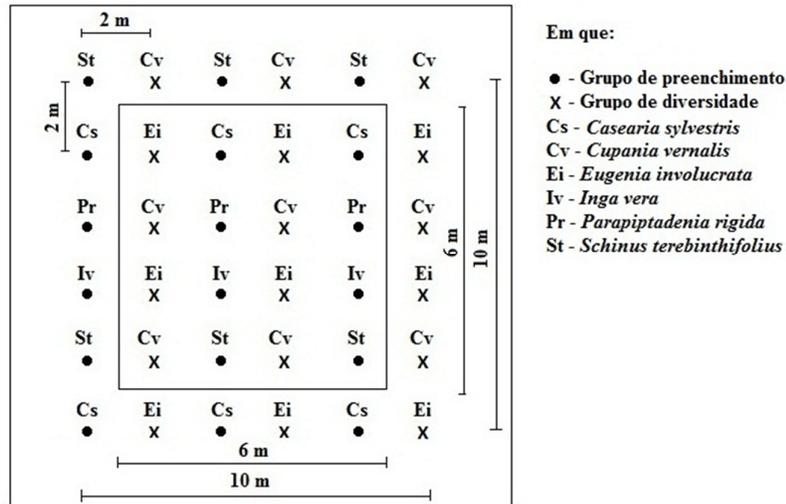
Ambas as áreas experimentais apresentavam-se roçadas, então, inicialmente, foi realizada a marcação das parcelas e tratamentos. Após, procedeu-se a subsolagem das linhas de plantio (30 cm), com uso de trator acoplado a subsolador, seguido da abertura das covas, nas dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm, com auxílio de cavadeira manual.

No plantio foi utilizada uma combinação de espécies em grupos funcionais, misturando quatro dos estágios iniciais (pioneiras e secundárias iniciais - grupo de preenchimento) e duas dos estágios finais de sucessão (secundária tardia e clímax - grupo de diversidade) para a composição do arranjo (Figura 1).

Ressalta-se que no momento do plantio, as mudas produzidas em ambos recipientes (tubetes de polipropileno e sacos de polietileno) apresentavam, visualmente, torrão formado

adequadamente, com substrato envolvido pelo sistema radicular e raízes finas e claras em abundância.

Figura 1 - Desenho esquemático da distribuição das espécies utilizadas na composição do arranjo, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Os experimentos 1 e 2 foram instalados utilizando delineamento experimental de blocos ao acaso. No experimento 1, os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (2 x 2), sendo o fator “A” representado por dois tipos de recipiente (tubetes cônicos de polipropileno de 180 cm³ ou sacos de polietileno de 1.500 cm³) e o fator “B” pela adubação verde (presença ou ausência de leguminosa no solo), com cinco repetições por tratamento. Cada uma das 20 parcelas de 10 x 10 m continha 36 mudas, de seis espécies, distribuídas em seis linhas, com espaçamento de 2 x 2 m (Figura 1), totalizando 720 mudas implantadas (180 mudas de *C. vernalis*, 180 mudas de *E. involucrata*, 120 mudas de *C. sylvestris*, 120 mudas de *S. terebinthifolius*, 60 mudas de *I. vera* e 60 mudas de *P. rigida*), e uma área total de efetivo plantio de 0,2 ha. A parcela útil possui 6 x 6 m e possui 16 mudas distribuídas em quatro linhas, apresentando uma linha externa que possui o papel da bordadura (Figura 1). Além disso, cada parcela encontra-se separada por 5 metros, distância essa caracterizada como zona morta ou de amortecimento.

As características dos recipientes utilizados no experimento 1 bem como as espécies de leguminosas utilizadas como adubação verde encontram-se detalhadas no Capítulo 1 e 2.

Para o experimento 2, os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (3 x 2), sendo o fator “A” representado por dois tipos de adubação e testemunha (adubação química, adubação orgânica ou ausência de adubação) e o fator “B” pela cobertura morta (presença ou ausência de cobertura morta sobre o solo), com quatro repetições por tratamento. Cada uma das 24 parcelas de 10 x 10 m possui 36 mudas, de seis espécies, distribuídas em seis linhas, com espaçamento de 2 x 2 m, totalizando 864 mudas (216 mudas de *C. vernalis*, 216 mudas de *E. involucrata*, 144 mudas de *C. sylvestris*, 144 mudas de *S. terebinthifolius*, 72 mudas de *I. vera* e 72 mudas de *P. rigida*), e uma área total de efetivo plantio de 0,24 ha. A parcela útil possui 6 x 6 m, e é composta por 16 mudas distribuídas em quatro linhas, apresentando uma linha externa que possui o papel da bordadura (Figura 1). Além disso, cada parcela encontra-se separada por 5 metros, distância essa caracterizada como zona morta ou de amortecimento.

A descrição dos adubos e tipo de resíduo utilizado para cobertura morta no experimento 2 encontra-se descrito no Capítulo 3.

3.5 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

3.5.1 Sobrevivência e atributos morfológicos

A parcela útil para medição dos atributos morfológicos (experimento 1 e 2), foi composta por 12 indivíduos de seis espécies (*C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*), tendo-se a representatividade de dois indivíduos de cada espécie, por repetição (Figura 1). No experimento 1, considerando o delineamento composto por quatro tratamentos distribuídos em cinco blocos (repetições), teve-se um total de 40 indivíduos avaliados de cada espécie. Para o experimento 2, o delineamento foi composto por seis tratamentos distribuídos em quatro blocos (repetições), totalizando de 48 indivíduos avaliados de cada espécie.

A avaliação da sobrevivência foi realizada de maneira visual, mediante a contagem dos indivíduos vivos, aos 60 dias após o plantio, calculando-se o percentual (%) de sobrevivência das diferentes espécies.

Para a obtenção dos atributos morfológicos foram realizadas medições da altura (H) e diâmetro do coleto (DC) a cada três meses, com auxílio régua (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente.

3.5.2 Atributos fisiológicos

A parcela útil para a medição dos atributos fisiológicos (não destrutivos), em ambos os experimentos, foi a mesma utilizada nos morfológicos. Nesse caso, foram consideradas cinco espécies (*C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera* e *S. terebinthifolius*), com coleta dos atributos da fluorescência da clorofila *a* em um indivíduo por repetição.

Para as análises fisiológicas não destrutivas, a redução na intensidade amostral tornou-se necessária tendo em vista os procedimentos para a sua determinação, como o pleno sol; 30 minutos de adaptação ao escuro; aproximadamente, dois minutos para determinação da fluorescência por planta; além de tempo pré-estabelecido para a finalização das medições, devido à fotoinibição. Para *P. rigida*, a determinação da fluorescência da clorofila *a* não foi possível devido ao tamanho reduzido de seus folíolos, o que impossibilita a rápida remoção da adaptação ao escuro e imediato acoplamento do equipamento para realização das leituras.

Nas análises fisiológicas destrutivas (determinação bioquímica do teor de clorofila *a* e *b*, carotenoides, atividade da enzima fosfatase ácida, conteúdo de fósforo solúvel, atividade da enzima SOD e conteúdo de H₂O₂) foram consideradas as seis espécies (*C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*), com coleta de amostras de folhas em dois indivíduos por repetição, os quais foram selecionados aleatoriamente dentro da parcela útil. As avaliações bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia Vegetal, pertencente ao Departamento de Biologia (UFSM).

3.5.2.1 Teor de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a*, *b* e carotenoides)

As folhas para extração de clorofilas e carotenoides (folhas expandidas, localizadas no terço médio) foram coletadas nas áreas de estudo (experimento 1 e 2), identificadas e imediatamente armazenadas em nitrogênio líquido para serem transportadas até o Laboratório. Após, o material foi armazenado em ultrafreezer (-80 °C) para evitar a degradação dos pigmentos clorofilados, até a realização das análises.

O teor de clorofilas e carotenoides foi determinado em amostras frescas de folhas (0,05 g), previamente maceradas com nitrogênio líquido. Após, as amostras foram incubadas a 65 °C com dimetilsulfóxido (DMSO) até a remoção completa dos pigmentos (HISCOX; ISRAELSTAN, 1979), o que para essas espécies totalizou 1,5 horas.

As absorvâncias das soluções foram medidas em espectrofotômetro (Celm E-205D) a 663, 645 e 470 nm para clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, respectivamente, sendo estimados usando a equação de Lichtenthaler (1987).

3.5.2.2 Determinação da fluorescência da clorofila *a*

A determinação da fluorescência da clorofila *a* foi realizada utilizando fluorômetro portátil (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik) em folhas completamente expandidas ligadas à planta e em condições fitossanitárias visualmente apropriadas.

As folhas selecionadas (expandidas e localizadas no terço médio) foram cobertas durante 30 minutos, visando a restrição da luz. Após, as mesmas foram expostas a pulsos de luz saturada em comprimento de onda induzida pela luz vermelha (pico em 650 nm) de, aproximadamente, $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fornecida por um conjunto de três diodos emissores de luz, e gravados por 1s com resolução de 12 bit, sendo obtidos os sinais de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), e a razão fluorescência variável/fluorescência máxima (eficiência fotoquímica máxima ou rendimento quântico máximo do fotossistema II - PSII) (F_v/F_m), sendo $F_v = F_m - F_0$, e taxa de transporte de elétrons (ETR), que mede o transporte de elétrons entre PSII e PSI.

3.5.2.3 Atividade da enzima fosfatase ácida e conteúdo de fósforo solúvel

As folhas utilizadas para determinação da atividade das fosfatases ácidas (APases) foram coletadas nas áreas de estudo, identificadas e imediatamente armazenadas em nitrogênio líquido para serem transportadas até o Laboratório, onde foram armazenadas em ultrafreezer (-80°C) até a realização das análises.

Amostras congeladas de tecido fresco das folhas foram previamente maceradas com nitrogênio líquido e homogeneizadas em tampão Tris/HCl (0,1 M), EDTA (0,001 M) e albumina (0,1 g) (pH 7,4). Em seguida, as amostras foram filtradas e centrifugadas a $20.000 \times g$ por 30 min e o sobrenadante resultante foi utilizado para a determinação da APase.

De acordo com Tabaldi et al. (2007), foi utilizado meio de reação contendo 3,5 mM de azida sódica, 2,5 mM de cloreto de cálcio, e 100 mM de tampão citrato, pH 5,5, em um volume final de 200 μL . Uma alíquota de 20 μL da preparação enzimática foi adicionada à mistura de reação, e pré-incubadas por 10 min a 35°C . A reação foi iniciada pela adição do

substrato (Pirofosfato inorgânico – PPI – 3,0 mM) e finalizada pela adição de 200 μL de ácido tricloroacético 10%. O fosfato inorgânico (Pi) foi medido a 630 nm usando verde malaquita como reagente colorimétrico e o fosfato de potássio dibásico (K_2HPO_4) como padrão para a curva de calibração, sendo as leituras realizadas em espectrofotômetro (Celm E-205D). As atividades específicas da enzima são relatadas como $\text{nmol Pi liberado min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína. Todas as análises foram realizadas a 4 °C em quadruplicata. A proteína foi determinada pelo método de Bradford (1976) usando albumina sérica bovina como padrão.

Na quantificação do conteúdo de fósforo solúvel nas amostras frescas de folhas foi utilizado o mesmo material da análise da APase. Nesse caso, uma alíquota da amostra diluída (800 μL) foi incubada a 45°C por 45 minutos em uma solução de ácido sulfúrico a 2,5 N, 4,8 mM de molibdato de amônio e 35 mM de ácido ascórbico, em um volume total de 1 mL. Uma curva padrão foi construída usando K_2HPO_4 . Após resfriamento em temperatura ambiente, foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro (Celm E-205D), a 650 nm.

3.5.2.4 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD)

Na determinação da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), amostras de folhas foram coletadas, congeladas e maceradas em N_2 líquido, e armazenadas em ultrafreezer a -80°C até o momento da análise. As amostras (0,5 g) foram homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de sódio (pH 7,8) 0,05 M, contendo 1 mM de EDTA e 2% (w/v) de polivinilpirrolidona (PVP). Após, o homogeneizado foi centrifugado em centrífuga refrigerada (13.000 x g por 15 minutos, a 4 °C) e o sobrenadante foi utilizado para a determinação da atividade da enzima SOD (ZHU et al., 2004).

A SOD foi determinada de acordo com o método espectrofotométrico, descrito por Giannopolitis e Ries (1977). Para análise foi misturado 50 μL de amostra vegetal com 2,950 mL de tampão de leitura [fosfato de potássio (50 mM, pH 7,8), metionina (13 mM), ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (0,1 μM), nitroazul de tetrazólio (NBT) (75 μM) e Riboflavina (2 μM)]. Após, os tubos foram iluminados dentro de uma caixa fechada com 15 watts de luz fluorescente, por 15 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Celm E-205D) a 560 nm. Uma unidade de SOD é definida como a quantidade de enzima que inibe a fotorredução do NBT em 50% (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971).

3.5.2.5 Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

Na quantificação de espécies reativas de oxigênio (ROS), o conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi determinado de acordo com Loreto e Velikova (2001), utilizando-se 0,3 g de amostras de folhas homogeneizadas em 3 mL de 0,1% de ácido tricloroacético (w/v). Após, o homogeneizado foi centrifugado a 12.000 x g por 10 min a 4 °C e 0,5 mL do sobrenadante foi adicionado em 10 mM de tampão fosfato de potássio (pH 7,0) e 1 mL de KI (1M). A concentração de H_2O_2 do sobrenadante foi avaliada comparando suas absorvâncias a 390 nm com uma curva padrão de calibração. A concentração de H_2O_2 é expressa como $\mu\text{mol g}^{-1}$ peso fresco.

3.5.3 Atributos físicos do solo

Além da caracterização química e física inicial das áreas de estudo, outros atributos físicos do solo foram obtidos. As coletas de amostras para realização das análises físicas (densidade, umidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade) foram realizadas em dois pontos, em cada parcela, de ambas as áreas experimentais (Experimento 1 e 2), nas camadas de 0 e 20 cm. Adicionalmente, também foram coletadas, na mesma intensidade amostral, amostras na situação mais próxima, campo nativo e área agrícola, nas áreas do experimento 1 e 2, respectivamente. Ressalta-se que esses dois usos do solo encontravam-se imediatamente após a delimitação final de ambos experimentos. Além disso, essas análises foram efetuadas com o intuito de complementar a caracterização das áreas, não visando comparações entre os tratamentos experimentais.

A umidade gravimétrica, densidade aparente do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram obtidas por meio da utilização de um anel de metal, denominado de Anel de Koppek, que possui aproximadamente três cm de altura e seis cm de diâmetro. Após a abertura de mini trincheiras, os anéis volumétricos foram acomodados na lateral das mesmas efetuando-se a coleta das amostras com auxílio de um extrator e uma espátula (Apêndice C). Os anéis foram cuidadosamente limpos, eliminando-se os excessos de material e raízes, imediatamente envoltos em *voil* preso por atilho de borracha, e transportados ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM.

As amostras coletadas foram dispostas em bandeja para saturação com o nível de água a 0,5 cm abaixo da borda superior do anel, por 48 horas. Depois de saturadas, as amostras foram pesadas, seguindo para mesa de tensão (0,006 Mpa), para obtenção da

macroporosidade. Depois dessa etapa, as amostras foram novamente pesadas e colocadas em estufa para secagem a 105 °C por 48 horas, e pesadas novamente. Com os dados obtidos foi calculada a densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade, microporosidade e umidade gravimétrica, conforme Embrapa (2011).

A infiltração de água no solo foi avaliada em 12 parcelas de cada área experimental e área adjacente (campo nativo e lavoura). A mesma foi determinada seguindo metodologia de Bernardo, Soares e Mantovani (2006), utilizando o método do infiltrômetro de anel, que consiste em dois anéis, colocados concentricamente, sendo o menor com diâmetro de 25 cm e o maior com 50 cm, e altura de 30 cm. A cada tempo (5; 10; 15; 20; 30; 60; 90; e 120 min) realizava-se a leitura e registro da quantidade de água infiltrada (Apêndice C), para posterior cálculo da taxa de infiltração, expressa em mm min^{-1} (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Capítulo I

Tolerância e resiliência de espécies florestais à geadas em plantio de restauração no Sul do Brasil

RESUMO

Elencar espécies potenciais para restauração de áreas torna-se complexo, tendo em vista a carência de informações sobre o comportamento silvicultural das arbóreas nativas após o plantio e suas respostas frente às condições ambientais adversas. A geadas é um fenômeno meteorológico importante que regula a distribuição das espécies vegetais, principalmente em regiões subtropicais. Nesse sentido, avaliou-se o efeito da geadas e o potencial de resiliência de espécies florestais nativas, em plantio de restauração de mata ciliar no Sul do Brasil. No plantio, utilizou-se uma combinação de seis espécies: *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis*, *Eugenia involucrata*, *Inga vera*, *Parapiptadenia rigida* e *Schinus terebinthifolius*, com mudas produzidas em tubetes (180 cm³) ou sacos de polietileno (1.500 cm³). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (6 x 2) (seis espécies e dois tipos de recipientes). No inverno de 2014, avaliou-se os danos decorrentes da incidência de geadas, mediante uma escala de notas variando de 0 (100% da área foliar e caule danificado) a 10 (ausência de dano visual). Adicionalmente, para avaliar a resiliência das espécies, foi mensurada a altura e o diâmetro do coleto, previamente ao inverno de 2014 (90 e 180 dias após implantação) e aos 270 e 360 dias. *E. involucrata* e *S. terebinthifolius* foram consideradas espécies tolerantes à geadas. *P. rigida* foi classificada como moderadamente tolerante à geadas, enquanto *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *I. vera* foram muito sensíveis à geadas. *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram potencial de retomada do crescimento. Por outro lado, *C. vernalis* e *I. vera* apresentaram elevadas taxas de mortalidade e/ou ausência de resiliência, não devendo ser introduzidas inicialmente em plantios com fins ambientais em áreas sujeitas a incidência de geadas. A tolerância, sobrevivência e a retomada do crescimento das diferentes espécies não são influenciadas pelo tipo do recipiente e, conseqüentemente, com o tamanho que as mudas foram transplantadas para área ripária. Entretanto, em regiões subtropicais é necessário selecionar espécies tolerantes à geadas, reduzindo custos com o replantio dos indivíduos em áreas em processo de recuperação.

Palavras-chave: Silvicultura de nativas. Mudas arbóreas. Fenômeno meteorológico. Mata ciliar. Bioma Mata Atlântica.

4 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, considerada um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, apresenta elevada riqueza e diversidade de espécies da fauna e flora (TABARELLI et al., 2005). No Brasil, esse bioma embora apresente grande importância ecológica, encontra-se altamente fragmentado, biologicamente empobrecido e com áreas degradadas. Nesse caso, intervenções são imprescindíveis para a conservação da biodiversidade e podem ser realizadas por meio do plantio de mudas de espécies arbóreas, combinando, preferencialmente, espécies de diferentes grupos ecológicos e funcionais (CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015; RODRIGUES et al., 2011).

Algumas áreas cuja vegetação arbórea foi fortemente impactada, como as ripárias, por exemplo, dependem de vegetação adaptada à estabilização de taludes para restabelecer sua funcionalidade. Entretanto, elencar espécies potenciais para utilização em programas de restauração passa a ser uma tarefa difícil, tendo em vista que o comportamento silvicultural da maioria das espécies florestais nativas no campo ainda é desconhecido, além de apresentar variação entre as regiões bioclimáticas.

Nos projetos que visam o restabelecimento de áreas por meio do plantio, é comum a seleção de espécies com base em grupos sucessionais, enfatizando seu crescimento, demanda lumínica, atratividade a fauna, potencial de ciclagem de nutrientes e fenologia (RODRIGUES et al., 2009). Assim, conforme Brancalion et al. (2009), espécies de preenchimento (rápido crescimento e copas amplas) e de diversidade (desempenhos e funções distintas) podem ser implantadas concomitantemente.

Na seleção de espécies pode-se optar erroneamente por algumas com grande potencial ecológico, mas susceptíveis a fatores ambientais como baixas temperaturas e geadas, o que resulta em prejuízos econômicos devido aos danos consideráveis às plantas, especialmente na fase inicial de desenvolvimento. Nesse sentido, na ecologia da restauração é importante que as comunidades ecológicas implantadas sejam tolerantes a regimes de perturbação (CHOI, 2004; HOBBS, 2007). Para alcançar esse objetivo, é necessário conhecer como as espécies de plantas respondem a diferentes distúrbios (CURRAN; REID; SKORIK, 2010).

A temperatura tem sido reconhecida como um dos principais fatores que influenciam o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação (CHARRA-VASKOU et al., 2012; GATTI et al., 2008), considerando que tanto as baixas como as altas temperaturas representam uma restrição ambiental no crescimento e desenvolvimento das plantas (MELCHER et al., 1994). A baixa temperatura, em particular, é um fator importante nos sítios tropicais de alta altitude e

em regiões subtropicais, as quais estão susceptíveis a ocorrência de geadas por um longo período do ano (CURRAN; REID; SKORIK, 2010).

Na América do Sul, as massas de ar polar proveniente do continente Antártico proporcionam intensas ondas de frio, com temperaturas mínimas que podem atingir valores negativos, sendo responsáveis pela ocorrência das geadas evidenciadas nas estações sazonais do outono a primavera (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008). Em temperaturas abaixo de 0 °C, o metabolismo celular é afetado, reduzindo ao mínimo as funções fisiológicas mais importantes (HIGA et al., 2000). Além disso, a incidência de geadas acarreta formação de cristais de gelo nos espaços extracelulares. Com isso, a água do protoplasma celular é direcionada para esses espaços, devido à diferença de potencial de água, caracterizando o dano, pois a célula perde água e ocorre a desidratação das mesmas (TAIZ; ZEIGER, 2002; YADAV, 2010).

Apesar dos impactos no metabolismo vegetal, poucos estudos considerando os danos ocasionados pelas baixas temperaturas e geadas têm sido realizados em todo o mundo, especialmente considerando mudas em plantios de restauração (SCOWCROFT et al., 2000). Assim, a intensificação de pesquisas considerando as espécies florestais, especialmente aquelas com potencial para restauração de áreas degradadas, além de fornecer informações sobre o seu comportamento silvicultural a campo, possibilita a redução dos custos da restauração, mediante escolha adequada das espécies para ambientes e regiões específicas.

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da geada e o potencial de resiliência de seis espécies florestais, em plantio de restauração de mata ciliar no Sul do Brasil, respondendo as seguintes questões: a) as espécies apresentam diferentes níveis de tolerância à geada? b) o potencial de resiliência é dependente da espécie? c) o plantio realizado com mudas produzidas em recipiente de maior volume influencia a tolerância, sobrevivência e a retomada do crescimento das diferentes espécies submetidas a condições ambientais adversas?

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil ($29^{\circ} 22' 8,47''$ S e $53^{\circ} 25' 5,57''$ W) (Figura 2). A vegetação está inserida na região fitogeográfica de Floresta Estacional Subtropical, e o solo da região é classificado como Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico (EMBRAPA, 2013). O clima da região é subtropical (Cfa), com precipitação bem distribuída ao longo do ano (média anual de 1.700 mm), temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio superior a 3°C (ALVARES et al., 2013).

Figura 2 - Distribuição geográfica do clima subtropical úmido na América do Sul (adaptado de Alvares et al., 2013) à esquerda e a área de estudo localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil

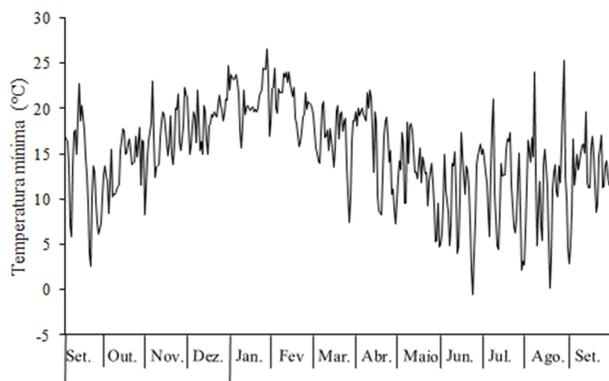


Fonte: Adaptado de Alvares et al (2013).

Os dados meteorológicos das temperaturas mínimas diárias registradas durante a condução desse estudo foram obtidos junto a Estação Meteorológica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para a região de Santa Maria. A Estação Meteorológica encontra-se a uma distância de 49 km da área experimental. Na Figura 3 é possível evidenciar três

períodos com temperaturas mínimas próximas ou abaixo de 0 °C, entre os meses de junho e agosto de 2014, caracterizando a incidência de geadas.

Figura 3 - Temperaturas mínimas diárias (°C) registradas durante a condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil



Fonte: A autora (2017).

5.2 DESENHO EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em área de mata ciliar, em 28 de setembro de 2013. No plantio, foi utilizada uma combinação de espécies de diferentes grupos ecológicos, quatro dos estágios iniciais (pioneiras e secundárias iniciais - grupo de preenchimento: *C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*) e duas dos estágios finais de sucessão (secundária tardia e clímax - grupo de diversidade: *C. vernalis* e *E. involucrata*) para composição do arranjo.

As mudas utilizadas, provenientes de tubetes de 180 cm³ [altura (H) \cong 20 cm; diâmetro do coleto (DC) \cong 4,5 mm] e de sacos de polietileno de 1.500 cm³ (H \cong 30 cm; DC \cong 5,0 mm) (Apêndice B) foram produzidas no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal, da UFSM, conforme detalhamento no item 3.2. Os recipientes utilizados na produção das mudas foram: tubetes cônicos de polipropileno com oito estrias longitudinais, diâmetro interno de 52 mm e altura de 13 cm e sacos de polietileno com 14,5 cm de largura e 23 cm de altura, com perfurações laterais do centro à base.

Na área de plantio, foi realizada a escarificação das linhas (30 cm), com um escarificador de haste acoplado a um trator, seguido da abertura das covas (30 cm x 30 cm x 30 cm), com auxílio de cavadeira manual (Apêndice D). No momento do plantio, todas as plantas receberam adubação de base com fertilizante de liberação controlada (NPK 15-08-12

Mg⁺²), com 12 meses de liberação, na dosagem de 135 g planta⁻¹, conforme recomendações do fabricante.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (6 x 2), sendo o fator A representado pelas seis espécies (*C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida*, *S. terebinthifolius*, *C. vernalis* e *E. involucrata*) e o fator B pelo recipiente utilizado (mudas produzidas em tubetes 180 cm³ ou em sacos de polietileno 1.500 cm³). Cada uma das 20 parcelas (10 m x 10 m) continha 36 mudas, distribuídas em espaçamento de 2 m x 2 m (Figura 1), totalizando 720 mudas plantadas (180 mudas de *C. vernalis*, 180 mudas de *E. involucrata*, 120 mudas de *C. sylvestris*, 120 mudas de *S. terebinthifolius*, 60 mudas de *I. vera* e 60 mudas de *P. rigida*), e uma área total de efetivo plantio de 0,2 ha. A parcela útil (6 m x 6 m) possuía 12 indivíduos de seis espécies, tendo-se a representatividade de dois indivíduos de cada espécie, por repetição (Figura 1). Considerando o delineamento composto por quatro tratamentos distribuídos em cinco blocos (repetições), teve-se um total de 40 indivíduos avaliados de cada espécie.

A medição da altura (H) e diâmetro do coleto (DC) foi realizada aos 90, 180, 270 e 360 dias após o plantio, com auxílio de régua (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente.

No inverno de 2014 (a partir dos 270 dias após plantio), os danos ocasionados pela incidência de geada foram avaliados, seguindo metodologia proposta por Caron et al. (2011) (Tabela 1). Nesse caso, seguindo a escala proposta por esses autores, cada score atribuído corresponde a um nível de dano e grau de tolerância à geada. A sobrevivência foi avaliada aos 360 dias mediante contagem dos indivíduos que se encontravam vivos.

Tabela 1 - Avaliação da tolerância de espécies florestais nativas em plantio de área ripária no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil

Nota*	Dano apresentado	Grau de tolerância
0	100% do caule danificado	Muito sensível
1	75-99% do caule danificado	Muito sensível
2	50-74% do caule danificado	Sensível
3	25-49% do caule danificado	Moderadamente tolerante
4	Menos de 25% do caule danificado	Tolerante
5	100% da área foliar danificada	Tolerante
6	75-99% da área foliar danificada	Tolerante
7	50-74% da área foliar danificada	Tolerante
8	25-49% da área foliar danificada	Tolerante
9	Menos de 25% da área foliar danificada	Tolerante
10	Ausência de dano visual	Resistente

*As notas inferiores a 5 apresentavam 100% da área foliar necrosada. Fonte: Adaptado de Caron et al. (2011).

Fonte: Adaptado de Caron et al. (2011).

Adicionalmente, para avaliar a resiliência das espécies, os dados H e DC, obtidos previamente ao inverno de 2014 (90 e 180 dias após plantio) e, posteriormente, aos 270 e 360 dias, possibilitaram avaliar o potencial de retomada do crescimento das espécies, após dano decorrente da incidência de geadas.

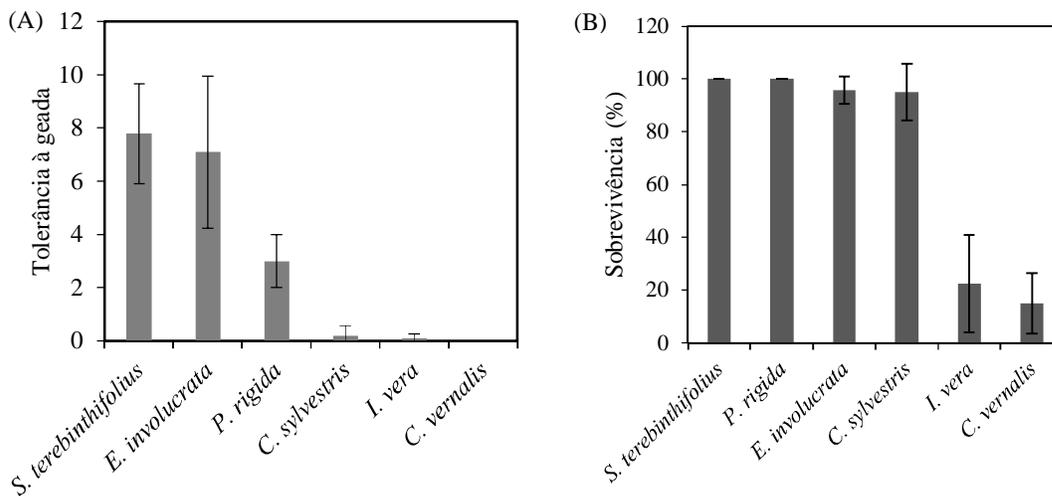
Os danos causados pela geada foram submetidos à análise de variância por meio dos Modelos Lineares Generalizados (GLM), com auxílio do *software* Statistical Package for Social Science for Windows 13.0 (SPSS, 2004). Com relação aos dados de sobrevivência, H e DC, esses foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos resíduos e de Bartlett para homogeneidade entre as variâncias. Constatada diferença significativa entre os tratamentos, efetuou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0.05$), com auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2014).

6 RESULTADOS

Todos os atributos analisados (tolerância, sobrevivência e resiliência) demonstraram efeito isolado apenas sobre o fator espécie ($p < 0,05$), e os danos apresentados pelas espécies podem ser observados no Apêndice E. Com relação à tolerância, *E. involucrata* e *S. terebinthifolius* apresentaram comportamento semelhante, em que os danos se concentraram nos escores médios de 7 e 8, respectivamente (Figura 4A), sendo consideradas como tolerantes a geadas.

Com comportamento intermediário, *P. rigida* apresentou danos que se concentraram no escore médio 3. Nessa situação, os indivíduos apresentavam além da área foliar completamente danificada, 25 a 49% do caule comprometido com lesões necrosadas, sendo classificada, conforme Tabela 1, como moderadamente tolerante a geada. Por outro lado, *C. sylvestris*, *I. vera* e *C. vernalis* apresentaram danos em 100% da área foliar e caule, sendo classificadas como muito sensíveis a geada (Figura 4A).

Figura 4 - Tolerância de espécies florestais à geada, com base em escala de notas variando de 0 (100% do caule e área foliar danificados) a 10 (ausência de dano visual), avaliada aos 270 dias após plantio das espécies (A) e sobrevivência de seis espécies florestais nativas aos 360 dias (B) em plantio de restauração de mata ciliar, no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.



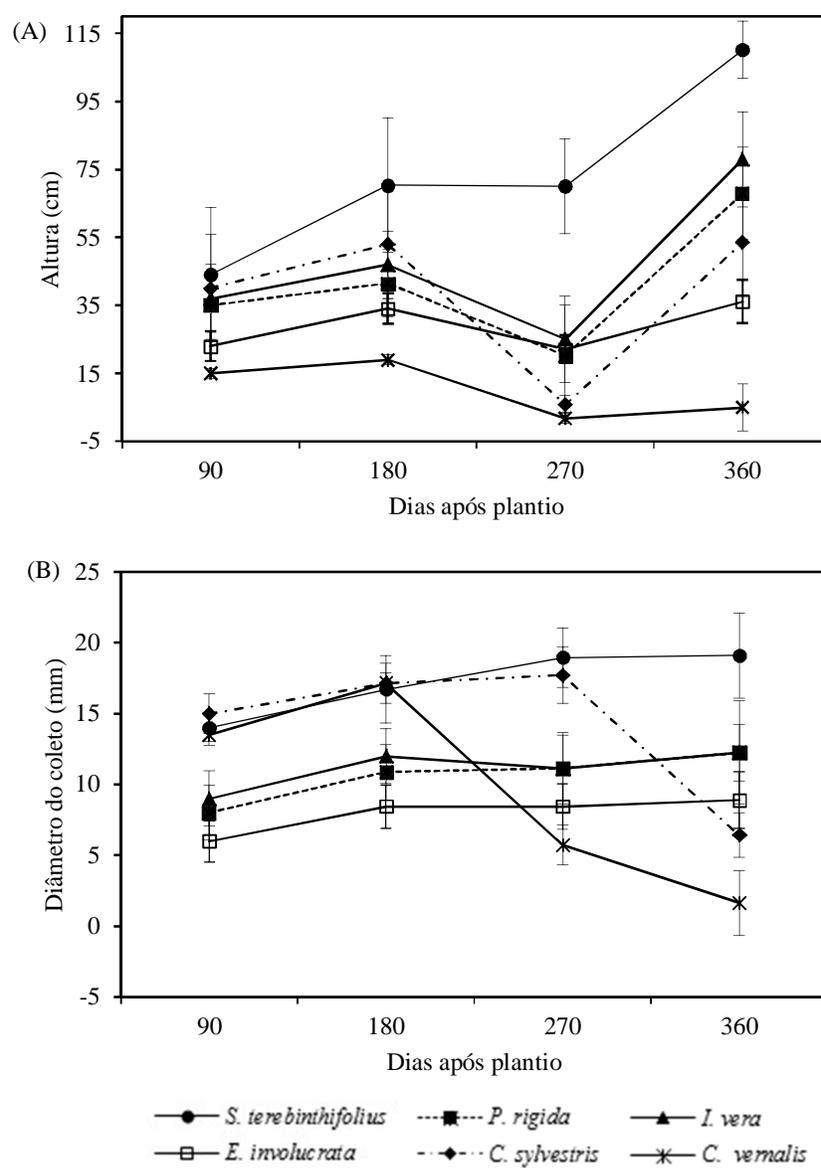
Fonte: A autora (2017).

Após ocorrência de geadas, evidenciou-se que *S. terebinthifolius*, *P. rigida*, *E. involucrata* e *C. sylvestris* apresentaram sobrevivência semelhante, com valores superiores a

95%. Comportamento oposto foi evidenciado em *I. vera* e *C. vernalis*, considerando as baixas percentagens de sobrevivência, com 22,5 e 15%, respectivamente (Figura 4B).

Quanto à resiliência, *S. terebinthifolius*, *P. rigida*, *E. involucrata*, *C. sylvestris* e *I. vera* apresentaram elevado incremento em altura, 90 dias após a ocorrência das geadas (Figura 5A).

Figura 5 - Crescimento em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de seis espécies florestais em plantio de restauração de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil.



C. sylvestris destacou-se pela queda acentuada na altura dos indivíduos, os quais apresentavam H de 52,9 cm (180 dias) reduzindo para 5,8 cm aos 270 dias. Entretanto, as brotações foram vigorosas, atingindo H média de 53,5 cm aos 360 dias após plantio. *C. vernalis*, por outro lado, não apresentou potencial de retomada do crescimento após a ocorrência do fenômeno (Figura 5A). Quanto ao diâmetro do coleto, observou-se que *C. vernalis* e *C. sylvestris*, foram as únicas espécies que reduziram a medida após a ocorrência de geada (Figura 5B).

7 DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a ocorrência de geadas é uma restrição ambiental importante para o estabelecimento e crescimento de espécies florestais em plantios de restauração, podendo comprometer o projeto diante de escolhas equivocadas das espécies. A influência desse fenômeno meteorológico também foi descrita por Curran, Reid e Skorik (2010), em um plantio de restauração na Austrália, e por Gatti et al. (2008) estudando os efeitos da geada sob o crescimento e padrão de distribuição de *Euterpe edulis*, na Floresta Atlântica da Argentina. Em ambos os estudos, os autores comprovaram os efeitos negativos da ocorrência de geadas sob o crescimento de espécies florestais, evidenciando que este é um fator determinante para o estabelecimento de determinadas espécies.

Entre as espécies avaliadas e nas condições em que o experimento foi conduzido, *E. involucrata* e *S. terebinthifolius* mostraram genótipos menos susceptíveis à geada, apresentando apenas danos nos brotos apicais e folhas, com 25 a 74% da área foliar danificada, porém sem dano no caule (Figura 4A). Alterações na coloração e textura das folhas também foram relatadas por Barbosa et al. (1993), ao analisar o efeito das geadas em mudas de 13 espécies arbóreas implantadas em mata ciliar (*Alchornea* sp.; *Cariniana* sp.; *Copaifera langsdorfii*; *Cordia* sp.; *Croton urucurana*; *Cyclolobium vecchii*; *Enterolobium contortisiliquum*; *Erythrina cristagalli*; *Genipa americana*; *Hymenaea courbaril*; *Inga striata*; *Lonchocarpus muehlbergianus* e *Platycyamus regnelli*), na região Sudeste do Brasil, sendo que esses foram considerados como os sintomas mais evidentes nas plantas.

A tolerância ao frio envolve mudanças em nível de transcriptoma, proteoma e metaboloma (GUY et al., 2008; HINCHA; ESPINOZA; ZUTHER, 2012), então, a tolerância é um fator genético. Dessa forma, a fração do código genético transcrita pelo RNA resulta em múltiplos mecanismos protetores, incluindo aumento na concentração de solutos intracelulares e acúmulo de metabólitos (STEPONKUS et al., 1998) tais como aumento na concentração de carboidratos solúveis totais (JACOBSEN et al., 2007; FLORIANI et al., 2013), proteínas crioprotetoras (FOURRIER et al., 2008), e ácido abscísico (XUE-XUAN et al., 2010; PELEG; BLUMWALD, 2011).

Com o aumento na concentração de solutos nas células, o ponto de congelamento da água é reduzido (JACOBSEN et al., 2007). Além disso, a sacarose, produzida pelas folhas durante a fotossíntese, e outros açúcares derivados como a glicose, frutose e galactose, podem se acumular nas folhas em situações de estresse, como mecanismo de defesa (HOLLAND et al., 2016). Assim, os açúcares presentes na planta apresentam a função de mensageiros

primários na transdução de sinal da tolerância ao frio (XUE-XUAN et al., 2010). Com o aumento na concentração de solutos, esses se ligam a água disponível, reduzindo a possibilidade do congelamento da água intracelular (KLIMOV et al., 2010). Também, o aumento na concentração de fosfolipídios estáveis nas biomembranas, acúmulo de polióis, aminoácidos, poliaminas e proteínas hidrossolúveis (LARCHER, 2000), tornam o protoplasma celular tolerante ao congelamento e conseqüentemente com menor susceptibilidade a desidratação.

P. rigida apresentou área foliar completamente danificada juntamente com 25 a 49% do caule necrosado, sendo classificada como moderadamente tolerante a geada. Entretanto, Souza et al. (2011), após 11 meses do plantio, não evidenciaram danos visíveis à parte aérea dos indivíduos. Essa diferença pode ter ocorrido devido às condições em que as mesmas foram implantadas, tendo em vista que a pesquisa utilizada como comparativo utilizou uma combinação de espécies de rápido crescimento, assim, pode ter ocorrido proteção de espécies mais resistentes sobre a *P. rigida*. Como consequência, conforme Pilau, Angelocci e Scarpari Filho (2007), a formação rápida do dossel pela copa das árvores diminui as perdas radiativas durante a noite, o que possivelmente minimizou os efeitos da geada.

Adicionalmente, tendo em vista que a tolerância ao frio envolve fatores genéticos (HINCHA; ESPINOZA; ZUTHER, 2012), pode-se considerar que as diferenças quanto ao comportamento das espécies também estejam relacionadas com a variabilidade genética do material de origem. As mudas utilizadas no plantio foram produzidas a partir de sementes, cuja coleta do material propagativo buscou ampla variabilidade genética, conforme recomendado por Brancalion, Gandolfi e Rodrigues (2009b). Nesse caso, as respostas das espécies quanto à tolerância e resiliência a geada também podem ser atribuídas a variabilidade genética do material de origem.

A geada prejudicou consideravelmente os indivíduos de *C. sylvestris* e *I. vera*, danificando 100% da área foliar e caule (Figura 4A), contudo, posteriormente, evidenciou-se elevada capacidade de resiliência de ambas as espécies (Figura 5A e 5B). Para *C. sylvestris*, observa-se a formação de vários brotos, o que segundo Carvalho (2006) é uma característica da espécie. Fisiologicamente, é possível inferir que ocorre um gasto energético com a alocação de carboidratos para formação dos novos brotos, os quais seriam direcionados, em condições ambientais não adversas, para o incremento em altura e diâmetro, por exemplo. Por outro lado, *I. vera* embora tenha potencial de resiliência, evidenciado pela retomada do crescimento (Figura 5A e 5B), apresentou baixa sobrevivência, com 22,5%, o que limita a utilização dessa espécie em ambientes sujeitos a incidência de geadas.

Com comportamento oposto as demais espécies estudadas, *C. vernalis* além de muito sensível à geada (Figura 4), não demonstrou potencial para retomar o crescimento após esse fenômeno meteorológico (Figura 5), divergindo de Carvalho (2006), que considerou a espécie como tolerante a baixas temperaturas e com brotação vigorosa em touceira. Assim, em áreas susceptíveis a ocorrência de geadas, a utilização dessa espécie não é recomendada. Dessa forma, constata-se que *C. vernalis* apresenta potencial para plantios de enriquecimento, inserida sob a cobertura de outras copas, que conferem proteção a essa espécie.

Adicionalmente, Higa et al. (2000) ressaltaram a importância de analisar conjuntamente o dano causado pela geada com o potencial de recuperação e retomada do crescimento das diferentes espécies. Assim, é possível indicar espécies para determinadas regiões, com confiança no nível de tolerância que apresentam frente a fatores adversos, bem como, pelo potencial de retomada do crescimento, como a *S. terebinthifolius* (tolerante a geada), que apresentou o maior crescimento em H e DC (Figura 5A e 5B). Isso pode ser atribuído ao caráter pioneiro e rústico da espécie (CARVALHO, 2003), que consegue se estabelecer em solos com restrições químicas, físicas e hídricas e em regiões com baixas temperaturas propensas a formação de geadas. Além disso, conforme Marcuzzo, Araujo e Gasparin (2015), *S. terebinthifolius* se destacou pelo potencial de crescimento dois anos após plantio. Nesse estudo, por ter sofrido somente a queima dos brotos apicais e folhas (25 a 49% da área foliar danificada) essa espécie expressou seu máximo crescimento, atingindo 110,2 cm e 19,1 mm, em H e DC, respectivamente, aos 360 dias após o plantio, caracterizando-se como de alto potencial para uso em plantios de restauração em regiões subtropicais, como é o caso do Sul do Brasil.

E. involucrata (tolerante a geada), *P. rigida* (moderadamente tolerante a geada) e *C. sylvestris* (muito sensível a geada), embora influenciadas de forma diferente quanto a susceptibilidade à geada, apresentaram elevada taxa de sobrevivência (superior a 95%) (Figura 4B) e elevado potencial de resiliência, conseguindo retomar seu crescimento em H e DC (Figura 5). No entanto, *I. vera* apesar da elevada capacidade de resiliência apresentada por alguns indivíduos (Figura 5), apresentou baixa taxa de sobrevivência (Figura 3B), o que inviabiliza a sua utilização em projetos de restauração em áreas sujeitas a ocorrência de geada.

De maneira geral, evidenciam-se diferentes respostas das espécies frente à incidência de geadas, independentemente do tipo de recipiente com que a muda é produzida e do grupo ecológico a que pertencem. Isso é atribuído, conforme Vieira, Feistauer, Silva (2003), as diferenças morfofisiológicas entre as espécies, que podem conduzir a mecanismos de tolerância específicos. Na prática, em projetos de recuperação de áreas, especialmente aqueles

com plantio de mudas, a utilização de modelos e número de espécies estabelecidos para outras regiões tropicais do Brasil pode não apresentar bons resultados em regiões fisiográficas distintas, acarretando em custos adicionais com o replantio dos indivíduos mortos. Por isso, destaca-se a importância dessas informações técnicas, as quais possibilitam utilizar espécies com maior confiança no êxito de seu comportamento frente às condições ambientais adversas, como a incidência de geadas.

8 CONCLUSÃO

Espécies florestais potencialmente aptas à restauração de áreas respondem de forma diferenciada a ação da geada, da mesma forma que demonstram resiliência e retomada do crescimento.

Espécies como *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *S. terebinthifolius* e *P. rigida*, independente do recipiente das mudas utilizadas, mostraram-se tolerantes à geada e/ou com potencial de retomada do crescimento.

No entanto, *C. vernalis* e *I. vera*, independente do recipiente das mudas utilizadas, foram consideradas como muito sensíveis à geada, com elevadas taxas de mortalidade e/ou sem potencial de resiliência, não devendo ser introduzidas inicialmente em plantios com fins ambientais em áreas sujeitas a incidência de geadas.

C. sylvestris, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *S. terebinthifolius* e *P. rigida* não apresentaram influência do volume dos recipientes utilizados na produção das mudas quanto a tolerância, sobrevivência e a retomada do crescimento quando submetidas a condições ambientais adversas.

CAPÍTULO II

Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas em áreas degradadas no Sul do Brasil: efeito do tipo de recipiente e da adubação verde

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a sobrevivência após o plantio e identificar a influência do tipo de recipiente utilizado na produção de mudas e uso da adubação verde sobre o crescimento de quatro espécies arbóreas nativas, em plantio de recuperação de mata ciliar. O plantio foi realizado no Sul do Brasil, utilizando as espécies *Casearia sylvestris*, *Eugenia involucrata*, *Parapiptadenia rigida* e *Schinus terebinthifolius*. As mudas utilizadas foram produzidas no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal, em tubetes de polipropileno (180 cm³) ou sacos de polietileno (1.500 cm³). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (2 x 2) (recipiente x adubação verde). A semeadura da adubação verde variou conforme a estação do ano, sendo utilizada *Canavalia ensiformis* e *Vicia sativa* como leguminosas cultivadas no verão e inverno, respectivamente. A análise da sobrevivência foi realizada visualmente, aos 60 dias após o plantio, considerando para cada espécie somente o tipo de recipiente utilizado. Os atributos morfológicos de crescimento como altura e diâmetro do coleto foram mensurados no tempo (a cada 90 dias). A projeção de copa foi avaliada em uma única ocasião, aos 720 dias após o plantio (setembro de 2015). Também foram avaliados os atributos fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*, teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, atividade da enzima fosfatase ácida, conteúdo de fósforo solúvel e atividade da enzima superóxido dismutase), além de atributos físicos do solo na área experimental e área adjacente (campo nativo). Quanto à sobrevivência, *C. sylvestris* e *P. rigida* não foram influenciadas pelo tipo de recipiente utilizado, enquanto *E. involucrata* e *S. terebinthifolius* apresentaram maiores taxas de sobrevivência quando as mudas foram produzidas em sacos de polietileno. Dois anos após o plantio, *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram maior crescimento quando foram produzidas em recipientes de maior volume e diante a adubação verde na área. Assim, para essas espécies, recomenda-se o plantio de mudas produzidas em sacos de polietileno e a implantação das mesmas associadas à adubação verde, alternando ciclos sucessivos de espécies de leguminosas de inverno e verão. Adicionalmente, devido ao desenvolvimento das espécies florestais e os ciclos de espécies de leguminosas é possível evidenciar melhor qualidade física do solo da área experimental, contribuindo assim com a recuperação dos recursos naturais.

Palavras-chave: Bioma Mata Atlântica. Mata ciliar. Atributos morfofisiológicos. *Canavalia ensiformis*. *Vicia sativa*.

9 INTRODUÇÃO

A intensa exploração e supressão dos remanescentes florestais nativos, em especial aqueles que compõem o Bioma Mata Atlântica, ocasionou a formação de paisagens altamente fragmentadas, biologicamente empobrecidas e degradadas (BERTACCHI et al., 2016). Entre esses ecossistemas alterados antropicamente, no Sul do Brasil, destacam-se as matas ciliares. Esses locais desempenham importantes funções ecológicas na conservação dos recursos naturais, ressaltando-se o seu papel na estabilização das margens dos rios e manutenção da qualidade da água (ABREU et al., 2015), além de atuarem como corredores ecológicos (CATTERALL et al., 2012).

Sendo assim, a recuperação desses ambientes torna-se uma prática essencial para o retorno do seu equilíbrio, estrutura e funcionalidade, podendo ser realizada mediante o plantio de mudas. No Brasil, uma das metodologias de plantio, preconizada por Rodrigues et al. (2009), considera a implantação simultânea e/ou intercalada de mudas de espécies arbóreas em grupos funcionais, ou seja, de preenchimento (rápido crescimento e copas amplas) e diversidade (desempenhos e funcionalidades distintas). Entretanto, para alcançar o êxito na implantação de plantios florestais, características do sítio, clima local, escolha de espécies, bem como aspectos relacionados com a qualidade das mudas a serem utilizadas nesses reflorestamentos merecem destaque (KRATZ; WENDLING, 2013; NAVROSKI et al., 2015).

Em viveiro, um dos fatores envolvidos na produção de mudas refere-se ao tipo de recipiente. Conforme Viana et al. (2008), o volume ideal do recipiente depende das características de crescimento das espécies, do substrato utilizado, das condições climáticas e do manejo aplicado em viveiro. De forma geral, no Brasil, até a década de 80, os sacos de polietileno foram os recipientes mais utilizados, no entanto, com a crescente demanda por mudas e a necessidade de automatização das operações em viveiro, esses foram substituídos pelos tubetes de polipropileno (LISBOA et al., 2012).

Esses recipientes (tubetes de polipropileno e sacos de polietileno) oferecem vantagens e desvantagens. Os tubetes, devido à presença de estrias internas que conduzem a formação do sistema radicular, dificultam o seu enovelamento (DAVIDE; FARIA, 2008), possibilitam a mecanização das operações e a otimização da área ocupada no viveiro (HAHN et al. 2006). Com isso, o custo de produção da muda e do seu transporte para o campo é reduzido, quando comparado com recipientes de maior volume. Entretanto, pela presença de paredes rígidas, podem proporcionar deformações radiciais (BARROSO et al., 2000), as quais irão comprometer o estabelecimento das mudas no campo.

Por outro lado, recipientes de maior volume como os sacos de polietileno, apesar da maior necessidade de mão de obra e custo de transporte, podem favorecer o crescimento das mudas devido a maior disponibilidade de substrato, água e nutrientes a ser explorado pelo sistema radicular (BRACHTVOGEL; MALAVASI, 2010). Nesse sentido, muitos estudos abordam o uso de insumos e técnicas adequadas para a produção de mudas no viveiro (BERGHETTI et al., 2016; KRATZ et al., 2015; MESQUITA et al., 2011). No entanto, são poucos os estudos que analisam o comportamento das plantas quando levadas ao campo (ABREU et al., 2015), o que pode levar a conclusões equivocadas.

Além disso, quando implantadas especialmente em áreas degradadas, as restrições ambientais atuam como barreiras que dificultam o estabelecimento inicial das espécies. Para melhorar as características dessas áreas e favorecer o desenvolvimento das espécies, técnicas silviculturais intensivas de preparo e fertilização do solo têm apresentado resultados positivos (BERTACCHI et al., 2016; CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015). Entre essas técnicas, a utilização de adubação verde associada com as espécies de interesse, proporcionam melhorias nos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo (GIACOMINI et al., 2003). Das espécies mais utilizadas para essa finalidade, destacam-se *Canavalia ensiformis* (L.) DC. e *Vicia sativa* L., ambas da família Fabaceae (Leguminosas) (WUTKE et al., 2007).

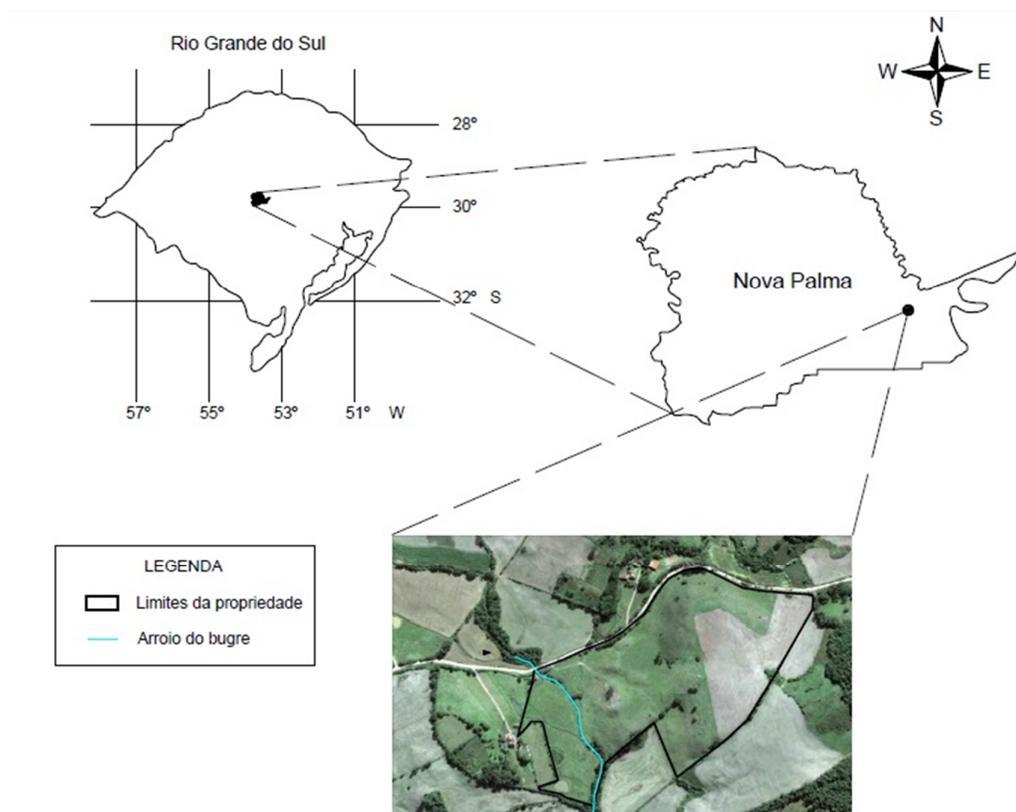
Espécies arbóreas como *Casearia sylvestris* Sw., *Eugenia involucrata* DC., *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Schinus terebinthifolius* Raddi são indicadas para recuperação de matas ciliares (BACKES; IRGANG, 2009). Dessa forma, o objetivo geral dessa pesquisa foi avaliar a sobrevivência de mudas após o plantio e identificar a influência do tipo do recipiente utilizado na produção e o uso de adubação verde no crescimento de quatro espécies florestais nativas, em plantio de recuperação de mata ciliar no Sul do Brasil. Pretende-se responder esse objetivo a partir dos seguintes questionamentos: a) a sobrevivência no campo é favorecida em mudas produzidas em recipientes de maior volume? b) as mudas produzidas em recipientes de menor volume, após seu estabelecimento no campo, superaram o crescimento daquelas implantadas a partir de recipientes com maior volume? e c) a adubação verde, independente do volume de recipiente, favorece o crescimento dessas espécies?

10 MATERIAL E MÉTODOS

10.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se nas coordenadas geográficas $29^{\circ} 22' 8,47''$ S e $53^{\circ} 25' 5,57''$ W, no município de Nova Palma, RS. O local de implantação do experimento caracteriza-se como área de preservação permanente (APP) degradada, a qual estava sendo utilizada para pastoreio de bovinos (Figura 6). O clima da região é subtropical, do tipo Cfa (ALVARES et al., 2013), com chuvas bem distribuídas ao longo de todos os meses do ano, e precipitação média anual variando entre 1.400 e 1.760 mm (NIMER, 1990).

Figura 6 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e em destaque a demarcação dos limites da Propriedade 1



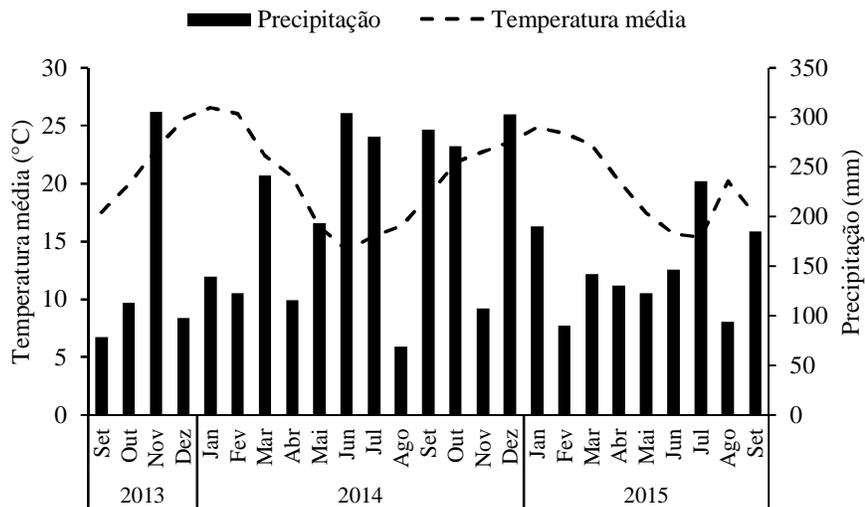
Fonte: A autora (2017). Destaque da figura extraído de Google Earth.

O solo da região é classificado como Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico (EMBRAPA, 2013). A metodologia utilizada para caracterização química e física do solo

encontra-se descrita no item 3.1 desse trabalho. Com relação aos atributos químicos do solo, evidencia-se que embora o pH tenha sido considerado baixo (5,2), os teores de Ca e Mg foram interpretados como alto, os teores de K como muito alto, enquanto os de P foi muito baixo (Apêndice A).

Os dados meteorológicos de temperatura média e precipitação (Figura 7) durante o período de condução do experimento (setembro de 2013 a setembro de 2015) foram obtidos junto a Estação Meteorológica, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, para a região de Santa Maria.

Figura 7 - Temperaturas médias mensais (°C) e precipitação média mensal (mm) registrada durante a condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil



Fonte: A autora (2017).

10.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O plantio foi realizado em 28 de setembro de 2013, em espaçamento de 2 m x 2 m, combinando seis espécies em grupos funcionais: *C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* (grupo de preenchimento) e *C. vernalis* e *E. involucrata* (grupo de diversidade) (Figura 1).

Na área experimental, realizou-se a subsolagem das linhas de plantio (30 cm), com uso de haste acoplada a implemento agrícola, seguido da abertura manual das covas (30 cm x 30 cm x 30 cm), com auxílio de cavadeira (Apêndice D). Na adubação de base foi utilizado

fertilizante de liberação controlada (FLC) (NPK 15-08-12 Mg^{+2}), 12 meses de liberação, na dosagem de 5 g L^{-1} , totalizando 135 gramas cova⁻¹.

As mudas utilizadas no plantio foram produzidas no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, conforme metodologia descrita no item 3.2, permanecendo no local por 11 meses. No plantio, as mudas apresentavam em média 25 cm de altura (H) e 6,0 mm de diâmetro do coleto (DC) (produzidas em tubetes de 180 cm^3 , com oito estrias internas longitudinais, diâmetro interno de 52 mm e altura de 13 cm) e 30 cm de H e 7,0 mm de DC (produzidas em sacos de polietileno de 1.500 cm^3 , com 14,5 cm de largura e 23 cm de altura e perfurações laterais do centro à base) (Apêndice B).

10.3 DESENHO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (2 x 2), sendo dois tipos de recipiente (mudas oriundas de tubetes de polipropileno de 180 cm^3 ou sacos de polietileno de 1.500 cm^3) e adubação verde (presença ou ausência de leguminosa no solo), considerando cinco repetições por tratamento. No total, o experimento foi composto por 20 unidades amostrais (10 m x 10 m) cada uma com parcela útil de 6 m x 6 m, as quais foram utilizadas para avaliação das variáveis (Figura 1). Ressalta-se que os dois fatores analisados nesse estudo apenas foram considerados para as espécies *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*, excluindo *C. vernalis* e *I. vera*, as quais não apresentaram tolerância e/ou potencial de resiliência a geada (Capítulo 1). Além disso, as espécies foram analisadas de forma independente.

Os sucessivos plantios das leguminosas (adubação verde) variaram com a estação do ano. No verão foi realizada a semeadura de *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), com auxílio de plantadeira manual, na densidade de 150 kg de sementes ha^{-1} , com entrelinhas de plantio distantes 50 cm (MATEUS; WUTKE, 2006) (Apêndice F). No inverno, foi utilizada a espécie *Vicia sativa* (ervilhaca), sendo a semeadura realizada a lanço, utilizando 80 kg de sementes ha^{-1} (MATEUS; WUTKE, 2006) (Apêndice F). O tombamento de ambas foi feito na época da floração, mediante roçada do material (Apêndice F), totalizando dois ciclos de plantio para cada uma das culturas.

No primeiro e segundo ano após o plantio foi realizada a adubação de manutenção nas mudas de espécies arbóreas, utilizando a análise do solo da área (Apêndice A) como base para

a determinação da quantidade de fertilizante. Nessa adubação, foi utilizado fertilizante de pronta liberação, com 48 g de ureia (NH_4NO_3) e 267 g de superfosfato simples (P_2O_5) por planta, o qual foi aplicado em duas covetas laterais no entorno das mudas.

O monitoramento do experimento foi realizado de forma contínua envolvendo atividades como erradicação de plantas invasoras (roçada nas entrelinhas de plantio), capina manual das mudas (coroamento) e controle de formigas cortadeiras (com produto comercial de contato e ingestão a base de Fipronil, Piraclostrobina e Metil Tiofanato, na dosagem de 2 ml para cada 20 litros de água), quando necessário.

10.4 ATRIBUTOS ANALISADOS

A análise da sobrevivência foi realizada de maneira visual, mediante a contagem dos indivíduos vivos, aos 60 dias após o plantio, sendo expressa em porcentagem.

Os atributos morfológicos altura (H) e diâmetro do coleto (DC) foram mensurados no tempo (0, 90, 180, 270, 360, 450, 540, 630 e 720 dias após o plantio), com auxílio de régua (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente. A partir desses dados, foi possível obter o incremento em H e DC de cada espécie, conforme Encinas, Silva e Pinto (2005).

A projeção de copa (PC) foi obtida no final do experimento (720 dias), utilizando metodologia adaptada de Fleig, Schneider e Finger (2003). Para tal, foram realizadas duas medições da projeção da copa, a primeira no sentido da linha de plantio e a segunda no sentido transversal a esta. Com base nessas duas medições, a PC foi calculada utilizando a fórmula da elipse:

$$PC = \pi \cdot [(L1+L2)/4]^2$$

Em que: PC = área da projeção individual da copa; L1 = comprimento da maior linha longitudinal da copa; L2 = comprimento da maior linha perpendicular à da copa; $\pi = 3,1415$.

Com relação aos atributos fisiológicos não destrutivos (fluorescência da clorofila *a*) e destrutivos (teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides; atividade da enzima fosfatase ácida; conteúdo de fósforo solúvel; e atividade da enzima superóxido dismutase), as metodologias utilizadas para coleta e análise dos mesmos encontram-se descritas no item 3.5.2. As análises não destrutivas foram realizadas em duas ocasiões (240 e 720 dias), para as espécies *C. sylvestris*, *E. involucrata* e *S. terebinthifolius*, excluindo-se *P. rigida*, conforme especificado no item 3.5.2. As determinações destrutivas (bioquímicas) foram realizadas aos 720 dias após o plantio.

Além desses atributos, a densidade e infiltração de água no solo, cujas metodologias encontram-se descritas no item 3.5.3, também foram analisados. Essas análises foram realizadas em dois ambientes: área experimental e área adjacente (campo nativo destinado ao pastoreio de bovinos), com o intuito de complementar a caracterização das áreas.

10.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

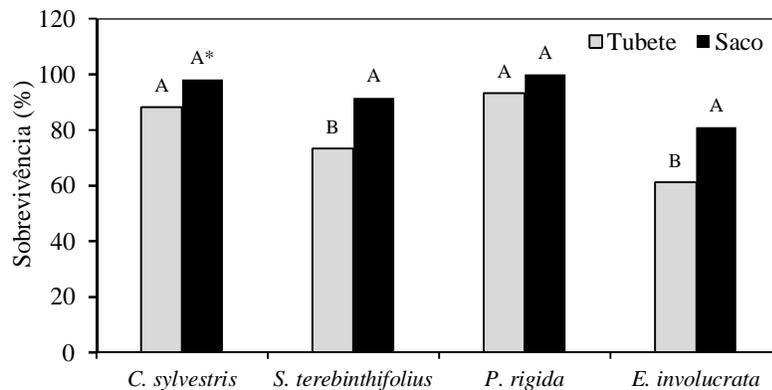
Primeiramente, os dados de sobrevivência, atributos morfológicos e fisiológicos foram submetidos aos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Para atender a esses pressupostos, houve necessidade de transformação dos dados de sobrevivência, utilizando $\sqrt{x+0,5}$, em que x representa o valor de sobrevivência (%) de cada indivíduo/espécie.

Após, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) considerando esquema fatorial (2 x 2) (recipiente x adubação verde), com cinco blocos, sendo as análises dos atributos fisiológicos realizadas isoladamente para cada período de avaliação (240 e/ou 720 dias). Constatada diferença significativa entre os tratamentos, efetuou-se a comparação de médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2014).

11 RESULTADOS

De maneira geral, das 720 mudas plantadas, 653 permaneceram vivas até os 60 dias após plantio (90,7% de sobrevivência). *C. sylvestris* e *P. rigida* apresentaram comportamento semelhante quanto à sobrevivência, não sendo influenciadas pelo volume do recipiente utilizado, com valores médios de 93,3 e 96,7%, respectivamente (Figura 8). Por outro lado, *S. terebinthifolius* e *E. involucrata* apresentaram maiores taxas de sobrevivência em mudas produzidas em recipiente de maior volume, alcançando 91,7 e 81,1%, respectivamente (Figura 8).

Figura 8 - Sobrevivência de mudas de espécies florestais nativas, aos 60 dias após plantio, produzidas em diferentes recipientes e implantadas em área de mata ciliar, extremo sul do Bioma Mata Atlântica



*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

Quanto ao incremento em altura (IH) e em diâmetro do coleto (IDC), *C. sylvestris* e *P. rigida* apresentaram os maiores resultados para ambos os atributos em mudas de sacos de polietileno e com a utilização de adubação verde (Tabela 2). *E. involucrata* também seguiu esse comportamento, com maior IH para mudas de sacos (33,8 cm ano⁻¹), independente da adubação verde, e maior IDC em mudas de sacos de polietileno (10,0 cm ano⁻¹) e na presença da adubação verde (9,86 cm ano⁻¹). Por outro lado, *S. terebinthifolius* apresentou apenas maior IDC em mudas de sacos de polietileno (33,3 cm ano⁻¹), independente da adubação verde para IH e IDC (Tabela 2).

Tabela 2 - Incremento em altura (IH) e incremento em diâmetro do coleto (IDC) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		IH (cm ano ⁻¹)			IDC (mm ano ⁻¹)		
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	86,50	57,30	71,90 b*	16,14	9,84	12,99 b
	Saco	128,42	101,85	115,14 a	25,26	16,96	21,11 a
	Média	107,46 A	79,58 B		20,70 A	13,40 B	
	CV (%)	27,79			43,69		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	21,81	19,95	20,88 b	8,04	6,50	7,27 b
	Saco	35,38	32,15	33,76 a	11,67	8,33	10,00 a
	Média	28,60 A	26,05 A		9,86 A	7,41 B	
	CV (%)	27,68			16,0		
<i>P. rigida</i>	Tubete	88,63	63,28	75,96 b	11,04	8,71	9,88 b
	Saco	112,70	76,40	94,55 a	18,21	13,41	15,81 a
	Média	100,67 A	69,84 B		14,63 A	11,06 B	
	CV (%)	21,70			26,80		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	93,84	85,97	89,90 a	26,62	21,89	24,26 b
	Saco	98,53	91,92	95,22 a	35,18	31,34	33,26 a
	Média	96,18 A	88,94 A		30,94 A	26,62 A	
	CV (%)	23,81			23,59		

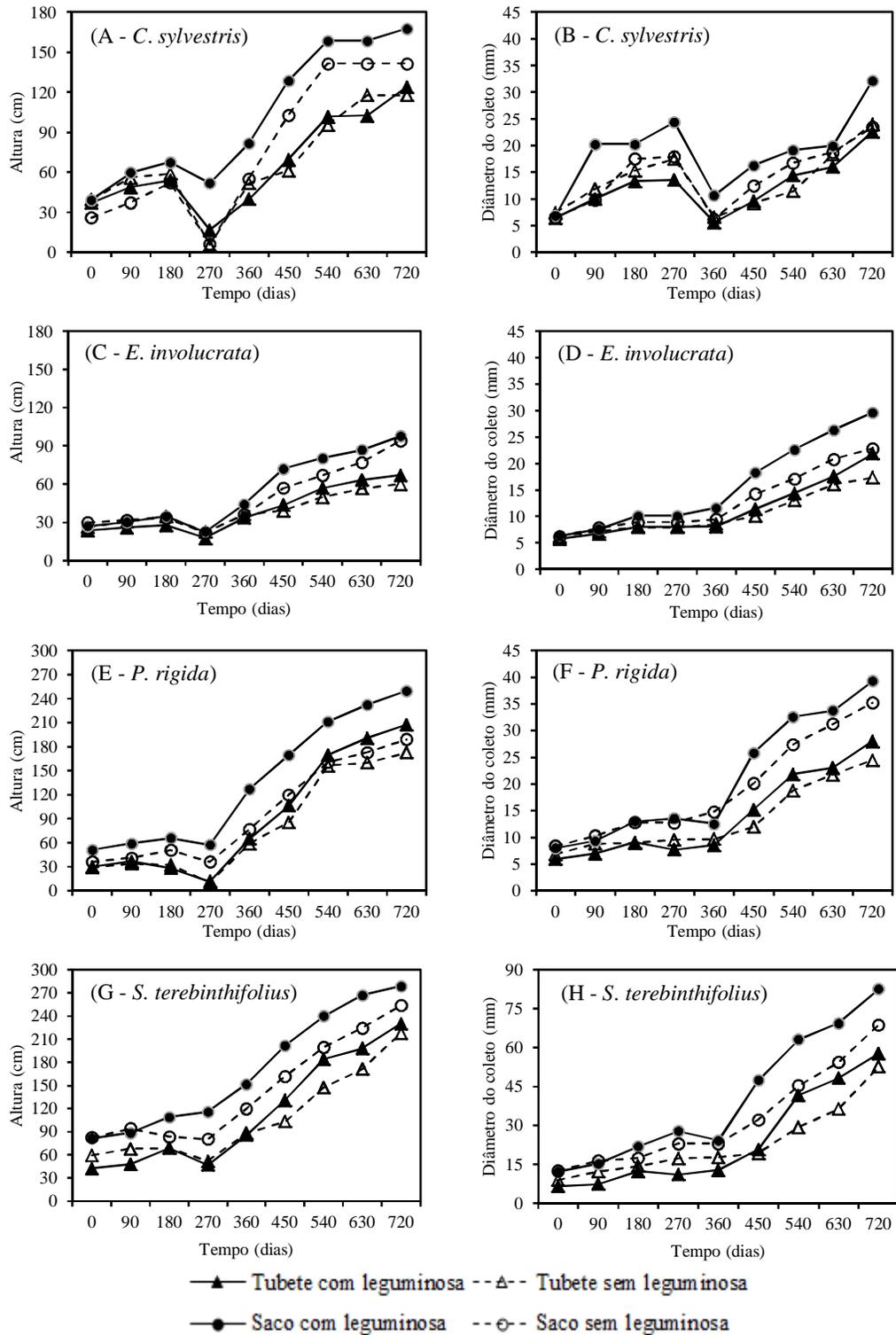
*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

A tendência de crescimento no tempo das quatro espécies evidencia que, inicialmente (até 180 dias), as mudas apresentavam padrão de crescimento semelhante (Figura 9).

Inicialmente (até os 180 dias), os valores de H e DC encontravam-se muito próximos para maioria das espécies, independente do tratamento utilizado, exceto *C. sylvestris*, cujas mudas de sacos de polietileno e submetidas à adubação verde já apresentavam crescimento superior em DC, com média de 20,3 mm (Figura 9). Imediatamente após a ocorrência de geadas, aos 270 dias após plantio, evidencia-se queda acentuada no crescimento em H para todas as espécies e fatores analisados. Além disso, principalmente *C. sylvestris* apresentou expressiva redução no crescimento em DC (Figura 9B). Após esse período, todas as espécies retomaram o crescimento, sobressaindo-se, de maneira geral, as mudas produzidas em sacos de polietileno (Figura 9).

Figura 9 - Crescimento em altura e diâmetro do coleto no tempo de *C. sylvestris* (A e B), *E. involucrata* (C e D), *P. rigida* (E e F) e *S. terebinthifolius* (G e H), em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Mata Atlântica, Brasil.



Fonte: A autora (2017).

A projeção de copa (PC) também apresentou efeito isolado de pelo menos um fator para as quatro espécies analisadas (Tabela 3). Seguindo o evidenciado em IH e IDC, *C. sylvestris*, *E. involucrata* e *P. rigida* apresentaram maior PC, aos 720 dias após plantio, quando utilizado mudas provenientes de sacos de polietileno (42,8; 19,1; e 58,4 cm²) e com adubação verde (42,8; 20,7; e 58,4 cm²), respectivamente. *S. terebinthifolius* também apresentou maior PC quando utilizadas mudas produzidas em sacos de polietileno (118,0 cm²), independente da adubação verde (Tabela 3).

Tabela 3 - Projeção de copa (cm²) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	35,93	29,41	32,69 b*
	Saco	49,69	35,99	42,84 a
	Média	42,83 A	32,7 B	
	CV (%)		12,52	
<i>E. involucrata</i>	Tubete	17,72	14,17	15,95 b
	Saco	23,58	14,69	19,14 a
	Média	20,65 A	14,43 B	
	CV (%)		15,75	
<i>P. rigida</i>	Tubete	50,42	35,10	42,76 b
	Saco	68,63	48,24	58,42 a
	Média	58,43 A	41,66 B	
	CV (%)		18,27	
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	77,22	75,28	76,25 b
	Saco	132,05	104,02	118,04 a
	Média	104,65 A	89,65 A	
	CV (%)		20,73	

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Em relação aos atributos fisiológicos relacionados com a fluorescência da clorofila *a*, a F_o e F_m não apresentaram efeito significativo dos fatores testados para nenhuma das espécies e tempos avaliados (Apêndice G e H).

O rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) também não apresentou interação significativa, nem efeito isolado dos fatores, tanto na avaliação realizada nos 240 dias como aos 720 dias após implantação, para *C. sylvestris* e *S. terebinthifolius* (Tabela 4). Para esse atributo, aos 240 dias, *E. involucrata* demonstrou o mesmo comportamento das espécies anteriormente descritas, entretanto, na avaliação final apresentou maior valor de

F_v/F_m em mudas implantadas com a utilização de adubação verde (0,662), independente do recipiente (Tabela 4).

Tabela 4 - Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		F_v/F_m (240 dias)		F_v/F_m (720 dias)			
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	0,519	0,377	0,448 a*	0,633	0,601	0,617 a
	Saco	0,474	0,519	0,496 a	0,613	0,525	0,569 a
	Média	0,496 A	0,448 A		0,623 A	0,5626 A	
	CV (%)	25,23			16,95		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	0,449	0,462	0,4555 a	0,670	0,568	0,619 a
	Saco	0,429	0,467	0,4478 a	0,654	0,595	0,625 a
	Média	0,439 A	0,464 A		0,662 A	0,582 B	
	CV (%)	26,99			12,80		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	0,762	0,813	0,788 a	0,712	0,652	0,682 a
	Saco	0,825	0,814	0,820 a	0,702	0,700	0,701 a
	Média	0,794 A	0,814 A		0,707 A	0,676 A	
	CV (%)	7,09			13,71		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Quanto à taxa de transporte de elétrons (ETR), *S. terebinthifolius* e *E. involucrata* também não apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) para os fatores analisados (Tabela 5). Por outro lado, *C. sylvestris*, na primeira avaliação (240 dias), apresentou interação entre recipiente x adubação verde e, nesse caso, as mudas produzidas em sacos de polietileno foram indiferentes à utilização da adubação verde, enquanto as mudas produzidas em tubetes de polipropileno apresentaram maior ETR com a adubação verde ($6,096 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		ETR (240 dias)		ETR (720 dias)			
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	6,096 Aa*	4,184 Ba	5,140	10,200	9,178	9,689 a
	Saco	3,832 Ab	4,596 Aa	4,214	10,678	8,810	9,744 a
	Média	4,964	4,390		10,439 A	8,994 A	
	CV (%)	28,27			33,66		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	4,162	3,910	4,036 a	8,986	8,7160	8,851 a
	Saco	4,180	4,040	4,110 a	9,610	8,7620	9,186 a
	Média	4,171 A	3,975 A		9,298 A	8,7390 A	
	CV (%)	39,84			26,43		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	2,664	2,710	2,687 a	14,110	11,180	12,63 a
	Saco	3,066	3,256	3,161 a	14,7706	12,560	13,670 a
	Média	2,865 A	2,983 A		14,440 A	11,870 A	
	CV (%)	32,31			17,80		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Entre os atributos fisiológicos destrutivos (bioquímicos), o teor de carotenoides não foi influenciado pelos fatores, para todas as espécies (Apêndice I). Para clorofila *a* em *C. sylvestris*, evidenciou-se maior teor em mudas produzidas em sacos de polietileno e implantadas com adubação verde ($1,809 \text{ mg g MF}^{-1}$), enquanto a clorofila *b* apresentou apenas efeito isolado, cujo maior teor foi obtido na presença de adubação verde ($0,770 \text{ mg g MF}^{-1}$), independente do tipo de recipiente (Tabela 6).

E. involucrata, por outro lado, não apresentou efeito de nenhum dos fatores testados, tanto para clorofila *a* como para clorofila *b* (Tabela 6). *P. rigida* demonstrou efeito isolado dos fatores recipientes e adubação, com maior teor de clorofila *a* em mudas de sacos de polietileno ($1,471 \text{ mg g MF}^{-1}$) e com adubação verde ($1,510 \text{ mg g MF}^{-1}$), e maior teor de clorofila *b* com a utilização de adubação verde ($0,580 \text{ mg g MF}^{-1}$), independente do recipiente utilizado (Tabela 6). Seguindo essa tendência, *S. terebinthifolius* também evidenciou maiores teores de clorofilas *a* e *b* com a utilização de adubação verde ($1,450$ e $0,951 \text{ mg g MF}^{-1}$, respectivamente), independente do recipiente (Tabela 6).

Tabela 6 - Teor de clorofila *a* e clorofila *b* (mg g MF⁻¹), de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		Clorofila <i>a</i> (720 dias)			Clorofila <i>b</i> (720 dias)		
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	1,642 Aa*	1,634 Aa	1,6378	0,743	0,686	0,715 a
	Saco	1,809 Aa	1,418 Bb	1,6135	0,798	0,537	0,667 a
	Média	1,726	1,526		0,770 A	0,611 B	
	CV (%)	9,28			18,59		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	1,385	1,361	1,373 a	0,566	0,356	0,460 a
	Saco	1,409	1,365	1,387 a	0,736	0,509	0,623 a
	Média	1,397 A	1,363 A		0,651 A	0,432 A	
	CV (%)	16,00			46,14		
<i>P. rigida</i>	Tubete	1,435	1,154	1,295 b	0,571	0,401	0,486 a
	Saco	1,585	1,357	1,471 a	0,590	0,246	0,423 a
	Média	1,510 A	1,256 B		0,580 A	0,329 B	
	CV (%)	8,19			43,58		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	1,404	1,249	1,327 a	0,819	0,617	0,718 a
	Saco	1,496	1,334	1,415 a	1,083	0,678	0,880 a
	Média	1,450 A	1,541 B		0,951 A	0,657 B	
	CV (%)	14,05			25,91		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

A atividade da enzima fosfatase ácida (APase) apresentou interação entre os fatores analisados para todas as espécies. Nesse caso, evidencia-se que *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram o mesmo comportamento, com maior valor obtido a partir do uso de mudas produzidas em sacos de polietileno associado à utilização de adubação verde (844,588; 806,660; 1670,330; e 99,574 nmol Pi Min⁻¹ mg⁻¹ proteína), respectivamente (Tabela 7).

Entretanto, quanto ao conteúdo de fósforo solúvel (Pi), apenas a espécie *S. terebinthifolius* seguiu essa tendência, com maiores resultados também em mudas de sacos de polietileno com a utilização de adubação verde (1,501 μmol de Pi g MF⁻¹) (Tabela 7).

Tabela 7 - Atividade da enzima fosfatase ácida (APase) ($\text{nmol Pi min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) e conteúdo de fósforo solúvel (Pi) ($\mu\text{mol de Pi g MF}^{-1}$), das espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		APase (720 dias)		Pi (720 dias)			
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	574,740Bb*	814,688 Aa	694,715	3,354	2,942	3,148 a
	Saco	844,588 Aa	473,670 Bb	659,129	2,677	3,285	2,981 a
	Média	709,665	644,179		3,015 A	3,114 A	
	CV (%)	15,82			17,65		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	582,200 Ab	517,818 Aa	550,009	1,222	1,176	1,199 a
	Saco	806,660 Aa	133,988 Bb	470,324	1,300	1,180	1,240 a
	Média	694,430	325,903		1,261 A	1,178 A	
	CV (%)	17,77			41,92		
<i>P. rigida</i>	Tubete	287,998 Ab	412,008 Aa	350,003	1,609	1,787	1,698 a
	Saco	1670,330Aa	481,042 Ba	1075,680	1,848	1,575	1,711 a
	Média	979,166	446,525		1,592 A	1,817 A	
	CV (%)	14,45			41,73		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	52,368 Ab	55,398 Aa	53,883	0,829 Ab	1,008 Aa	0,919
	Saco	99,574 Aa	68,020 Ba	83,797	1,501 Aa	0,659 Ba	1,080
	Média	75,971	61,709		1,165	0,834	
	CV (%)	24,34			41,99		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Quanto ao sistema antioxidante, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) também apresentou interação entre os fatores, para a maioria das espécies, com exceção de *P. rigida*, no qual apenas houve efeito isolado dos fatores (Tabela 8). Apesar da maioria das espécies ter apresentado interação entre os fatores, essas apresentaram respostas diferenciadas, tanto em termos quantitativos (valores da atividade da enzima em cada espécie) como quanto à influência dos fatores.

C. sylvestris demonstrou maior atividade da enzima SOD em mudas de sacos de polietileno com a utilização de adubação verde ($178,508 \text{ U mg}^{-1}$ de proteína), enquanto em *E. involucrata*, os maiores valores foram evidenciados em mudas produzidas em tubetes e sem a utilização de adubação verde ($638,300 \text{ U mg}^{-1}$ de proteína) (Tabela 8).

Por outro lado, *P. rigida*, demonstrou efeito isolado de ambos os fatores, com maior atividade da enzima SOD em mudas produzidas em tubetes ($4.188,552 \text{ U mg}^{-1}$ de proteína) e com adubação verde ($3.490, 957 \text{ U mg}^{-1}$ de proteína) (Tabela 8). Para *S. terebinthifolius*, a

SOD apresentou maior atividade em mudas de sacos de polietileno sem a utilização de adubação verde (1.310,506 U mg⁻¹ de proteína).

Tabela 8 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), em U mg⁻¹ de proteína, de espécies florestais em função de diferentes tipos de recipiente e uso de adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	88,130 Bb*	160,102 Aa	121,863
	Saco	178,508 Aa	65,219 Bb	124,116
	Média	133,319	112,660	
	CV (%)		44,96	
<i>E. involucrata</i>	Tubete	410,892 Ba	638,300 Aa	524,596
	Saco	411,348 Aa	487,460 Ab	449,404
	Média	411,120	562,880	
	CV (%)		15,35	
<i>P. rigida</i>	Tubete	3329,002	5048,102	4188,552 a
	Saco	1369,640	1933,812	1651,726 b
	Média	2349,321 B	3490,957 A	
	CV (%)		24,78	
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	936,292 Aa	774,898 Bb	855,595
	Saco	534,212 Bb	1310,506 Aa	922,359
	Média	735,252	1042,702	
	CV (%)		17,71	

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

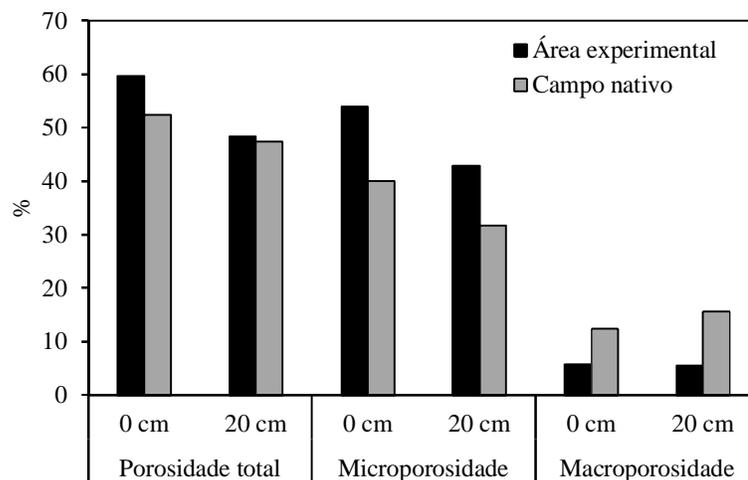
Fonte: A autora (2017).

Além dos atributos morfofisiológicos avaliados, os atributos físicos do solo, como a umidade, densidade, porosidade total, macro e microporosidade e infiltração de água do solo foram avaliados na área experimental e no campo nativo.

A maior densidade do solo (Ds) foi evidenciada na área adjacente ao experimento (campo nativo), com valores de 1,24 e 1,12 g cm⁻³, enquanto que na área experimental, foi de 1,09 e 0,98 g cm⁻³, nas profundidades de 0 e 20 cm, respectivamente.

Por outro lado, na área de condução do experimento, o solo apresentou maior umidade (31,8%) quando comparado ao campo nativo (23,2%). Além disso, em relação aos espaços ocupados pelos poros do solo, a área experimental também evidenciou maior porosidade total e microporos (Figura 10).

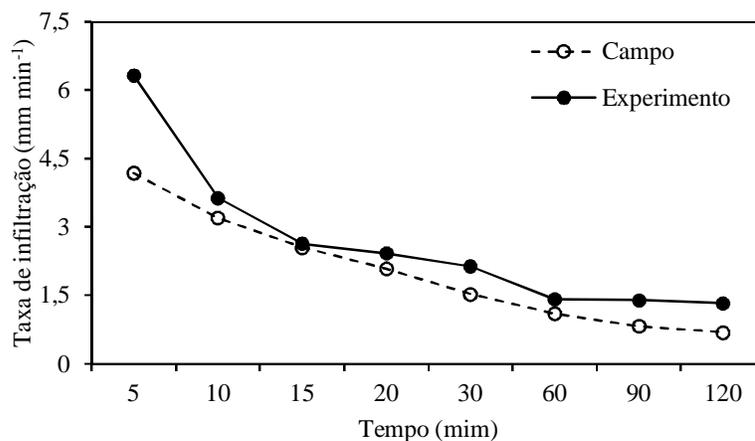
Figura 10 - Porosidade do solo em área experimental e área adjacente (campo nativo), extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil



Fonte: A autora (2017).

De forma complementar, a taxa de infiltração também foi maior, especialmente nos primeiros minutos, no solo da área com plantio de espécies arbóreas, atingindo $6,3 \text{ mm min}^{-1}$ (5 minutos) enquanto que no campo nativo os valores alcançados nessa medição foram $4,2 \text{ mm min}^{-1}$ (Figura 11).

Figura 11 - Taxa de infiltração de água no solo (mm min^{-1}) em área experimental e área adjacente (campo nativo), extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil



Fonte: A autora (2017).

12 DISCUSSÃO

A sobrevivência geral do plantio foi elevada (90,7% sobrevivência). *C. sylvestris* e *P. rigida*, apresentaram valores de sobrevivência de 93,3 e 96,7%, independente do tipo de recipiente. Para *S. terebinthifolius* e *E. involucrata*, os valores de sobrevivência foram favorecidos pelo saco de polietileno com 91,7 e 81,1%, respectivamente (Figura 8). Nesse sentido, as quatro espécies analisadas apresentaram valores de sobrevivência inicial elevada, entretanto, esse atributo tende a reduzir os percentuais com o tempo. Conforme Brancalion, Gandolfi e Rodrigues (2009a) isso ocorre devido à ação de filtros ecológicos, determinantes à composição final da comunidade, tais como a herbivoria, a competição inter e intraespecífica, a preferência por nichos ecológicos, estresses abióticos, entre outros.

Além disso, os maiores valores de sobrevivência observados nas mudas de *S. terebinthifolius* e *E. involucrata* (Figura 8) quando as mudas foram implantadas a partir de sacos de polietileno, possivelmente esteja relacionado com o maior espaço para ampliação do sistema radicular, considerando o maior volume de substrato. Assim, no campo, as mudas rapidamente se estabeleceram, conseguindo explorar o solo compactado pelo pastoreio no local, o qual é considerado como um fator de degradação limitante ao estabelecimento das espécies na área de estudo. Assim, após a implantação, as mudas produzidas em sacos de polietileno possivelmente conseguiram, conforme Brachtvogel e Malavasi (2010), suprir suas demandas hídricas e nutricionais, e com isso impulsionar seu crescimento.

Adicionalmente, ressalta-se que, das espécies analisadas, *E. involucrata* foi a que apresentou os menores valores de sobrevivência, com 81,1 e 61,1%, em mudas de sacos e tubetes, respectivamente (Figura 8). Isso pode ser atribuído, principalmente, ao seu grupo sucessional, considerada como secundária tardia (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999), com comportamento esciófilo (CARVALHO, 2008). Assim, a implantação dessa espécie em condições de pleno sol, provavelmente, foi determinante para os menores valores de sobrevivência.

O maior crescimento das quatro espécies analisadas, tanto no incremento em H, DC e área de cobertura de copa foi obtido quando se utilizou mudas produzidas em sacos de polietileno e com adubação verde (Tabela 2 e 3). Isso demonstra que apesar da aparente rusticidade dessas espécies florestais, a introdução de mudas com sistema radicular mais amplamente distribuído, adicionalmente ao aporte de nutrientes e descompactação do solo proporcionado pelo uso de adubação verde, favoreceu o desenvolvimento das mudas. Conforme Neves et al. (2005), a restrição do sistema radicular proporcionado pelo menor

volume do recipiente, pode promover o desequilíbrio na razão entre raízes e parte aérea, alterando as respostas morfofisiológicas da planta, refletindo não só na qualidade da muda mas também no seu comportamento a campo.

Além disso, Bomfim et al. (2009) relataram que recipientes de maiores dimensões como sacos de polietileno, pelo maior volume de substrato que comportam, proporcionam ao sistema radicular das mudas condições essenciais para o suprimento nutricional e hídrico, bem como para o aumento do potencial de regeneração de raízes, favorecendo o desempenho das mudas no campo. Nesse sentido, de acordo com Close et al. (2010), mudas produzidas em recipientes maiores possuem elevada relação raiz/parte aérea e maior biomassa total. Segundo esses autores, em nível fisiológico, a maior relação raiz/parte aérea beneficia as taxas de crescimento e a biomassa total, resultando em maiores estoques de carboidratos disponíveis para remobilização logo após o plantio.

O maior crescimento, tanto em H quanto em DC, das mudas produzidas em recipientes de maior volume persistiu ao longo da condução do experimento (720 dias) (Figura 9). Isso diverge do relatado por José, Davide e Oliveira (2005) para *S. terebinthifolius* aos 250 dias após plantio; Keller et al. (2009) para *Inga marginata* (ingá-feijão), *Jacaranda puberula* (carobinha) e *Zeyheria tuberculosa* (ipê-felpudo) aos 300 dias após o plantio; Ajala et al. (2012) para *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso) aos 360 dias após o plantio; e Abreu et al. (2015) para *Enterolobium contortisiliquum* (timbaúva) aos 150 dias após o plantio. Esses autores relataram que as diferenças no crescimento em H e DC tendem a desaparecer gradativamente após o plantio no campo, recomendando assim a utilização dos menores recipientes pela economia de substrato, espaço ocupado no viveiro e esforço no plantio, fato que não foi observado após 720 dias de condução do experimento.

Ao analisar a tendência de crescimento das quatro espécies no tempo, evidencia-se que até os 180 dias após plantio, as espécies apresentavam crescimento em H e DC semelhante entre os tratamentos analisados, exceto *C. sylvestris*, que se destacava no crescimento em DC, quando as mudas foram produzidas em sacos e submetidas à adubação verde (Figura 9). Aos 270 dias após plantio, a redução no crescimento em H para todas as espécies, em todos os fatores analisados (Figura 9), foi consequência da incidência de geada, característica típica do clima de regiões subtropicais (Capítulo 1).

Além disso, principalmente *C. sylvestris* evidenciou expressiva redução no crescimento em DC (Figura 9B), decorrente das brotações nos indivíduos (Capítulo 1, Apêndice E). Essa espécie apresenta como característica a rebrota de touça, com formação de múltiplos brotos (CARVALHO, 2006), os quais surgem devido à perda do eixo central. A

partir dos 360 dias, todas as espécies retomaram o crescimento, sobressaindo-se, de maneira geral, as mudas produzidas em sacos de polietileno com a utilização de adubação verde no solo (Figura 9).

Adicionalmente as vantagens proporcionadas pela utilização de recipientes de maior volume, os sucessivos ciclos de plantio das leguminosas *C. ensiformis* (verão) e *V. sativa* (inverno), foi determinante para que a superioridade no crescimento de *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* persistisse com o tempo. As espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde fazem associações simbióticas com bactérias fixadoras do nitrogênio da família Rhizobiaceae (SOUZA et al., 2012), as quais realizam a fixação do nitrogênio atmosférico e sua redução à moléculas de amônio, forma assimilável pelas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além disso, o N fornecido pela biomassa das leguminosas pode ter sido mineralizado gradualmente, garantindo um suprimento regular de N ao longo do período de crescimento.

Conforme Giacomini et al. (2004), as leguminosas em geral podem fixar até 88,8 kg de N por hectare. Além disso, por imobilizarem o nitrogênio da fixação biológica feita pelo rizóbio em seus tecidos, apresentam uma relação carbono/nitrogênio (C/N) próxima de 20, e acelerada taxa de decomposição (ALVARENGA et al., 2001). Isso, considerando a proporção de raízes desenvolvidas em recipientes de maior volume, sugere a habilidade de assimilação do nitrogênio pelas espécies.

Por outro lado, o menor desenvolvimento das mudas oriundas de recipiente do tipo tubete e na ausência da leguminosa se deve ao volume limitado, que impossibilita a expansão suficiente do sistema radicular. Esse fato, juntamente com a não disponibilização adicional de nitrogênio prontamente assimilável às plantas, decorrente da ausência de adubação verde no solo, resultou em menor crescimento.

Corroborando com os resultados morfológicos, quanto à fluorescência da clorofila *a*, *E. involucrata*, aos 720 dias após plantio, demonstrou uma evidência fisiológica do motivo pelo qual não está se desenvolvendo quando implantada na ausência de adubação verde. Nessa condição, o valor de F_v/F_m , que representa a eficiência máxima do fotossistema II (PSII), quando todos os centros de reação estão abertos, foi menor (0,58) do que na presença da adubação verde (0,66) (Tabela 4).

Em condições ambientais ótimas, Björkman e Powles (1984) relataram que os valores de F_v/F_m variam entre 0,75 a 0,85. Segundo esses autores, valores abaixo dessa faixa indicam efeito fotoinibitório decorrente de estresse biótico e/ou abiótico incidente sobre a planta, podendo ser reversível ou persistente. Corroborando com esses autores, Turchetto et al.

(2016) também consideraram satisfatório o desenvolvimento obtido em espécies florestais quando a relação F_v/F_m encontrou-se entre 0,75 a 0,85. Embora o valor de F_v/F_m com a utilização de adubação verde (0,66) seja inferior a faixa estabelecida pelos autores citados acima, nessa situação, *E. involucrata* não apresentou alterações capazes de prejudicar seu crescimento, diferentemente de quando cultivada sem adubação verde, em que expressou menores incrementos (Tabela 3).

A *C. sylvestris* apresentou maiores valores de taxa de transporte de elétrons (ETR) em mudas de tubetes com a adubação verde ($6,0960 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 5), enquanto que mudas de sacos de polietileno foram indiferentes à adubação verde. Embora com maior ETR, mudas de tubetes com a adubação verde não refletiram maior IH e IDC. Isso pode ter ocorrido devido a esses elétrons não estarem chegando ao seu destino final, o qual deveria ser o de suprir o vazio eletrônico do fotossistema I (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007), permitindo que os demais ciclos tenham fonte de energia para serem realizados, o que resultaria, ao final, em maiores ganhos em biomassa. Contudo, não foram evidenciadas diferenças significativas na perda desses elétrons na forma de fluorescência (F_o e F_m , Apêndice G e H), uma das possíveis rotas de dissipação, podendo-se inferir que, provavelmente, esses estão sendo perdidos, pela *C. sylvestris*, na forma de calor, parâmetro não mensurado no presente estudo.

Além disso, o maior crescimento das espécies provenientes de sacos de polietileno na presença da leguminosa confirma-se mediante os resultados dos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*), para *C. sylvestris*, *P. rigida*, *S. terebinthifolius*, e também para *E. involucrata*, que embora não tenha sido influenciada pela adubação verde, apresentou os maiores valores de clorofila *a* e *b* nessa condição (Tabela 6). Os sucessivos ciclos de cultivo das espécies de leguminosa, provavelmente, forneceram um aporte adicional de nutrientes para as espécies florestais, principalmente N. Esse elemento faz parte da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2002), sendo o nutriente fixado pelas leguminosas. Assim, ocorreu o aumento do teor de clorofila (*a* e *b*) em folhas de plantas cultivadas com adubação verde. O aumento no teor de clorofilas pode ter influência positiva no crescimento das plantas, pela maior absorção da radiação luminosa.

A atividade da enzima fosfatase ácida também apresentou maiores valores em mudas de sacos de polietileno com leguminosa (Tabela 7). Apesar do solo da área ter apresentado conteúdo de fósforo muito baixo (SBCS/CQFS, 2004) (Apêndice A), a adição de leguminosa, por proporcionar um aumento na matéria orgânica (MANDAL et al., 2003), proporcionou incrementos de N e de outros nutrientes, como o P, na forma orgânica. Nesse caso,

possivelmente, a enzima tornou-se ativa, convertendo o fósforo orgânico em inorgânico, forma assimilável pela planta, refletindo em maior IH e IDC para mudas de *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*. Isso fica evidente quando analisado o conteúdo de fósforo solúvel (Pi), em especial para *S. terebinthifolius* (Tabela 7).

Além disso, essa situação também pode estar relacionada ao sistema radicular das leguminosas, que fazem associações simbióticas (GONÇALVES; MELLO, 2005). Essas associações podem ocorrer com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, formando nódulos e enriquecendo o solo com esse nutriente, fundamental para o crescimento e produção das culturas (ALVARENGA et al., 1995). Adicionalmente, também pode ocorrer simbiose entre as raízes das plantas e fungos presentes no solo (micorriza) (SOUZA et al., 2006). As micorrizas possuem entre suas funções, o papel de promover a absorção dos nutrientes pouco móveis no solo, como o P, e disponibilizar esses nutrientes para as plantas. Isso se torna possível devido ao crescimento da hifa fora da área de ação da raiz e, como consequência, a região de absorção de água e nutrientes é consideravelmente expandida (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Quanto ao sistema de defesa da planta, a atividade da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD), que atua na degradação especificamente do ânion superóxido (RESENDE; SALGADO; CHAVES, 2003), evidenciou maior atividade em mudas de tubetes e na ausência de adubação verde. Nesse caso, as espécies *C. sylvestris*, *E. involucrata* e *P. rigida* embora tenham manifestado atividade da enzima, essa, possivelmente, esteja indicando estresse oxidativo, o que também contribuiu, juntamente com os demais atributos relatados, para o menor crescimento nessas condições. Isso corrobora com o relatado por Mittler (2017) o qual relatou que a maior atividade do sistema antioxidante acarreta em dispêndio de energia pela planta, refletindo em menor crescimento.

Adicionalmente a resposta morfofisiológica apresentada pelas espécies diante dos tratamentos, evidencia-se, de maneira geral, melhor características físicas do solo na área experimental. Dois anos após o plantio, a mesma apresentou maior porosidade total e infiltração de água, o que está diretamente relacionado a menor densidade do solo (Ds), em ambas as profundidades, em relação ao campo nativo (Figura 10 e 11). Em fragmento florestal nativo na região de transição campo-floresta em Neossolo Litólico, Rorato et al. (2015) evidenciaram valores de Ds (0 cm) e umidade do solo de 0,71 g cm³ e 38,1%, respectivamente. Nesse sentido, os valores observados na área experimental (Ds 0 cm: 1,09 g cm³; Ds 20 cm: 0,98 g cm³ e umidade: 31,8%) tendem a se aproximar, com o tempo, aos observados pelos autores referenciados, em fragmento nativo nessa mesma classe de solo.

Alterações na densidade do solo referem-se diretamente a sua compactação. Valores superiores de densidade, em geral, implicam na redução da porosidade total (macro e microporos) (VIZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000). Essas alterações são significativas, pois conforme Fermino (2014), os macroporos são responsáveis pela infiltração e drenagem de água e aeração do solo, enquanto os microporos destinam-se a retenção de água. Com isso, alterações na porosidade influenciam as relações de ar, água e também de temperatura do solo, podendo afetar negativamente o ciclo das culturas, desde a germinação até o crescimento e produção (VIZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000).

Reichert, Reinert e Braida (2003) relataram que em termos físicos, um solo de qualidade proporciona a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, rios e lençol freático; responde ao manejo e resiste à degradação; permite trocas de calor e gases entre a atmosfera e as raízes das plantas; e possibilita o crescimento radicular. Nesse sentido, Alves, Suzuki e Suzuki (2007) sugerem a análise de atributos como a densidade e infiltração de água no solo como indicadores da sua qualidade.

Todos os atributos físicos (densidade, umidade, porosidade e infiltração de água) apresentam relação com o uso do solo. Nesse sentido, a menor porosidade total (Figura 10) e infiltração de água no solo (Figura 11), observada no campo nativo, são decorrentes dos processos naturais (ciclos de umedecimento e secagem, expansão e contração da massa do solo) (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), mas também podem estar associadas ao pisoteio animal (ALBUQUERQUE; SANGOI; ENDER, 2001) e ao inadequado manejo da pastagem.

Assim, o isolamento dos fatores de degradação, evitando o acesso de bovinos, aliado aos sucessivos ciclos de cultivo das espécies de leguminosa, contribuiu para melhorar a qualidade física do solo na área experimental. Com isso, têm-se melhores condições para o crescimento e desenvolvimento das espécies florestais, principalmente, quando essas são produzidas em recipiente de maior volume.

13 CONCLUSÃO

Em plantio de recuperação de mata ciliar, as espécies *C. sylvestris* e *P. rigida* não foram influenciadas pelo tipo de recipiente utilizado na produção da mudas, enquanto, *E. involucrata* e *S. terebinthifolius*, apresentaram maior sobrevivência quando o plantio foi realizado com mudas produzidas em sacos de polietileno (1.500 cm³).

C. sylvestris, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram maior crescimento em campo, até os dois anos após plantio, quando produzidas em sacos de polietileno e utilizada adubação verde na área, alternando ciclos sucessivos de espécies de leguminosas de inverno e verão.

CAPÍTULO III

Crescimento de mudas de seis espécies arbóreas nativas no campo: efeito do tipo de adubação e uso de cobertura morta

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a sobrevivência após o plantio e o crescimento de *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis*, *Eugenia involucrata*, *Inga vera*, *Parapiptadenia rigida* e *Schinus terebinthifolius*, em relação ao tipo de adubação e uso de cobertura morta, em plantio de recuperação de mata ciliar no Sul do Brasil. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (3 x 2), sendo o fator “A” representado por dois tipos de adubação e testemunha (adubação química, adubação orgânica ou ausência de adubação) e o fator “B” pela cobertura morta (presença ou ausência de cobertura morta sobre o solo). A análise da sobrevivência foi realizada de maneira visual, aos 60 dias após o plantio. Os atributos morfológicos de crescimento como altura e diâmetro do coleto foram mensurados no tempo (a cada 180 dias), enquanto a matéria seca aérea, área foliar, atributos fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*, teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, atividade da enzima fosfatase ácida, conteúdo de fósforo solúvel, atividade da enzima superóxido dismutase e conteúdo de peróxido de hidrogênio), além de atributos físicos do solo na área experimental e área adjacente (área agrícola) foram avaliados em uma única ocasião, aos 30 meses após o plantio (900 dias). *C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram expressiva sobrevivência, com aproximadamente 77, 83, 85 e 86%, respectivamente, independente da adubação e/ou cobertura morta. Por outro lado, *C. vernalis* (61%) e *E. involucrata* (80%) apresentaram maior sobrevivência quando utilizado cobertura morta (*mulching*) sobre o solo. A adubação química mediante o uso de fertilizante de liberação controlada influenciou positivamente o crescimento em campo, sendo recomendado a sua utilização em plantios com essas arbóreas nativas para potencializar o desenvolvimento das mesmas bem como minimizar possíveis danos decorrentes de estresses bióticos e/ou abióticos. A presença de cobertura morta (*mulching*) sobre o solo não influenciou o crescimento das espécies analisadas. Adicionalmente, constatou-se melhor qualidade física do solo da área experimental quando comparado à área agrícola adjacente, destacando-se a importância do isolamento das áreas em processo de recuperação dos fatores de degradação, o que aliado ao recobrimento do solo pela cobertura vegetal proporciona uma melhoria ambiental que contribui para o retorno do equilíbrio do ecossistema.

Palavras-chave: Silvicultura intensiva. Fertilizante de liberação controlada. Recuperação de área alterada. Mata ciliar.

14 INTRODUÇÃO

As paisagens naturais são mosaicos dinâmicos compostos pela vegetação em diferentes estágios de sucessão, com influência das variações ambientais (MARTINS et al., 2012). Segundo esses autores, nesses locais, a ação antrópica é reconhecida, tanto como fonte de degradação quanto como agente de manejo, visando à conservação ou recuperação.

A fragmentação dos ecossistemas que compõem a Mata Atlântica é um dos exemplos da ação antrópica como agente de degradação ambiental, principalmente mediante a adoção de práticas não sustentáveis de uso dos recursos naturais (ALVES; NASCIMENTO; SOUZA, 2012; CARNEVALI et al., 2016). Como consequência, a recuperação de áreas inseridas em matriz agrícola e sem resiliência natural requer o uso de metodologias que preconizam intervenção direta, como o plantio de mudas (RODRIGUES et al., 2011).

Nos plantios, a utilização de espécies florestais regionais é importante, pois essas estão adaptadas às condições ambientais locais, podendo expressar maior sobrevivência e crescimento no campo (LACERDA; FIGUEIREDO, 2009; SANSEVERO et al., 2011). Nesse sentido, o conhecimento da silvicultura de arbóreas nativas no campo é fundamental, pois com base nas respostas dessas em condições naturais é possível selecionar espécies e adotar estratégias de manejo para proporcionar crescimento satisfatório, acelerando-se o processo de recuperação ambiental.

Os sítios inseridos em áreas agrícolas, muitas vezes, oferecem uma restrição adicional ao estabelecimento e crescimento das espécies. Nesses locais, dependendo do manejo que é aplicado, os solos podem, conforme Fontana e Oliveira (2015), apresentar camadas com consistência seca, maiores valores da densidade e estrutura maciça. Assim, todas essas características podem limitar a colonização das espécies arbóreas, sendo necessário amenizá-las mediante utilização de práticas silviculturais intensivas.

No entanto, a maioria dos projetos com fins ambientais não são realizados com o mesmo respaldo técnico que povoamentos comerciais como dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (LELES et al., 2011). Esses autores enfatizaram que ainda há necessidade de estudos envolvendo as espécies arbóreas nativas, os quais são imprescindíveis para otimizar as implantações, com redução de custos mediante a realização de práticas adequadas. Nesse sentido, um dos aspectos que deve ser observado refere-se à adubação das mudas no plantio. Entretanto, pela ausência de informações quanto às exigências nutricionais, especialmente quando implantadas a campo, as arbóreas nativas são consideradas pouco exigentes, sendo os plantios normalmente realizados com pouco ou nenhum aporte nutricional.

A fertilização do solo pode ser realizada utilizando fontes minerais de liberação imediata ou gradual, ou ainda fontes orgânicas de diferentes origens. Os fertilizantes de liberação controlada (FLC), comumente utilizados em viveiro, apesar do elevado custo, também podem ser utilizados em plantios, estando disponível em diferentes formulações e tempos de liberação. Conforme Jacobs e Landis (2009), o FLC, devido à liberação gradativa de nutrientes, reduz as perdas por lixiviação, suprimindo a demanda ao longo do crescimento da planta.

Além do FLC, outra alternativa é a adubação orgânica com resíduos de origem animal ou vegetal (PAULUS; MULLER; BARCELLOS, 2000). A utilização de adubação orgânica de origem animal pode representar economia pelo seu baixo custo ou disponibilidade do material na propriedade (GALVÃO; MIRANDA; SANTOS, 1999). Essa adubação melhora, além das características químicas (fertilidade), as físicas (estrutura, aeração e infiltração da água) e biológicas do solo (ativa a microbiota) (WEINÄRTNER; ALDRIGHI; MEDEIROS, 2006).

Concomitante com a adubação, para amenizar os efeitos da exposição do solo em áreas degradadas, pode-se fazer uso de cobertura morta (*mulching*), prática comumente utilizada no cultivo de hortaliças, frutíferas e espécies agrônômicas (CANTU et al., 2013; FREIRE et al., 2010; SANTOS et al., 2012). Ao proteger o entorno das mudas com resíduo vegetal (cobertura morta), minimiza-se o efeito da matocompetição, além de manter a umidade do solo, reduzir a erosão e a lixiviação de nutrientes (FREIRE et al., 2010).

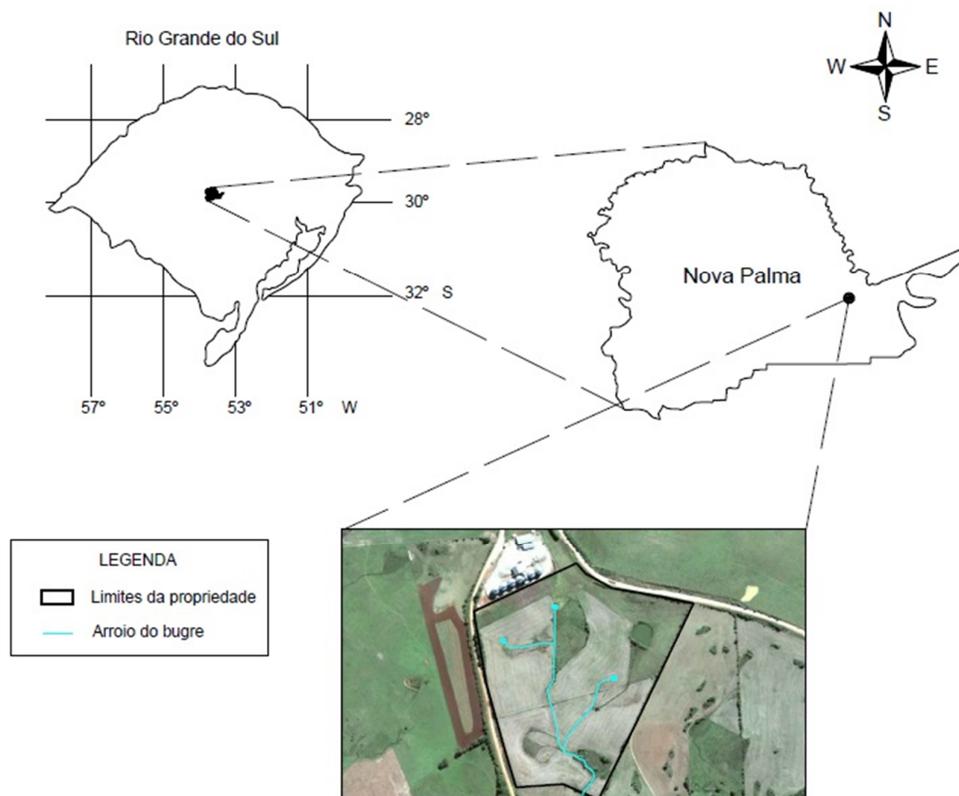
Dessa forma, o objetivo geral dessa pesquisa foi avaliar a sobrevivência após o plantio e identificar a influência do tipo de adubação e uso de cobertura morta sobre o crescimento de seis espécies florestais nativas, em plantio de recuperação de mata ciliar no Sul do Brasil. Pretende-se responder esse objetivo a partir dos seguintes questionamentos: a) a sobrevivência é influenciada pela presença de cobertura morta no solo? b) as mudas conduzidas com adubação química apresentam maior crescimento, entretanto, esse equivale à adubação orgânica? e c) a presença de cobertura morta sobre o solo, independente da adubação utilizada, favorece o crescimento dessas espécies?

15 MATERIAL E MÉTODOS

15.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em pequena propriedade rural no interior do município de Nova Palma, RS, nas coordenadas geográficas $29^{\circ} 20' 36,25''$ S e $53^{\circ} 26' 17,84''$ W (Figura 12). No local encontram-se três nascentes, as quais dão origem ao Arroio Bugre, afluente do Rio Jacuí. A propriedade destina-se a atividade agrícola, principalmente com o cultivo de soja, intercalada por curto período de pousio. As características climáticas e edáficas da região são as mesmas descritas no Capítulo 1 e 2.

Figura 12 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e em destaque a demarcação dos limites da Propriedade 2



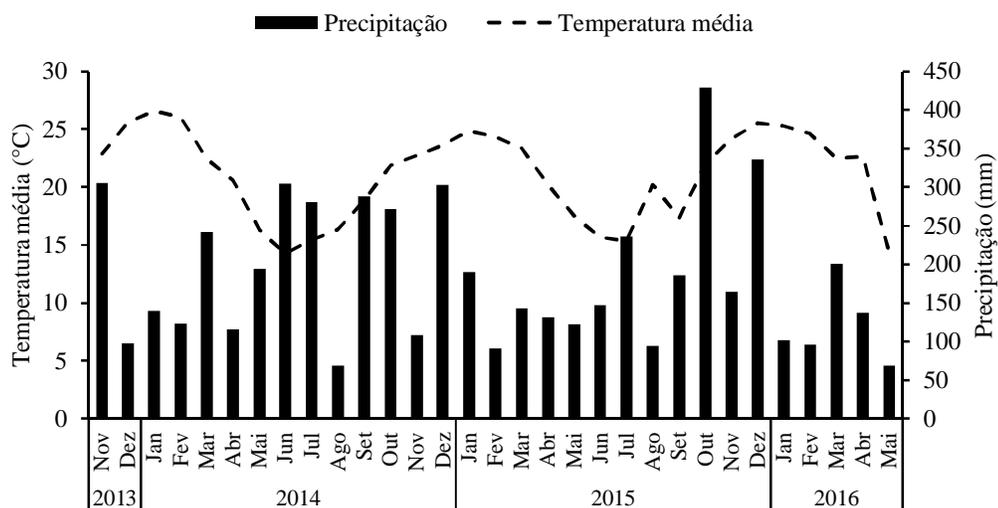
Fonte: A autora (2017). Destaque da figura extraído de Google Earth.

Os procedimentos adotados para a coleta e análise do solo foram os mesmos mencionados anteriormente (item 3.1), e as características químicas e físicas do solo

encontram-se no Apêndice A. De forma geral, os atributos químicos, interpretados conforme SBCS/CQFS (2004), evidenciaram pH muito baixo (4,9), correspondendo a solo ácido, com teor de matéria orgânica (MO) baixo (2,2%), nível médio de fósforo e cálcio, alto de magnésio e muito alto de potássio.

Os dados meteorológicos de temperatura média e precipitação (Figura 13) durante a condução do experimento (novembro de 2013 a maio de 2016, 2,5 anos) foram obtidos junto a Estação Meteorológica, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, para a região de Santa Maria.

Figura 13 - Temperaturas médias mensais (°C) e precipitação média mensal (mm) registrada durante 2,5 anos de condução da pesquisa, Santa Maria, RS, Brasil



Fonte: A autora (2017).

15.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

No plantio, realizado no dia 29 de novembro de 2013, foi utilizado o mesmo arranjo de espécies descrito anteriormente (Figura 1), considerando quatro espécies do grupo de preenchimento (*C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*) e duas do grupo de diversidade (*C. vernalis* e *E. involucrata*). As mudas, provenientes de tubetes cônicos de polipropileno de 180 cm³ (com oito estrias longitudinais, diâmetro interno de 52 mm e altura de 13 cm), apresentavam altura (H) variando de 10,3 a 22,7 cm e diâmetro do coleto (DC) de

3,1 a 5,4 mm (Apêndice B), conforme a espécie, sendo produzidas conforme descrito no item 3.2.

A subsolagem das linhas de plantio (30 cm) foi realizada com haste acoplada a implemento agrícola, seguido da abertura manual das covas (30 cm x 30 cm x 30 cm), com auxílio de cavadeira (Apêndice J). Devido à época de plantio, foi adicionado juntamente com a muda, 0,5 litros de polímero hidrorretentor hidratado por cova. Na hidratação, foi utilizada a dosagem de cinco gramas de polímero para cada litro de água. (Apêndice J).

15.3 DESENHO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (3 x 2), sendo o fator “A” representado por dois tipos de adubação e testemunha (adubação química, adubação orgânica ou ausência de adubação) e o fator “B” pela cobertura morta (presença ou ausência de cobertura morta sobre o solo), com quatro repetições por tratamento. Cada uma das 24 parcelas de 10 m x 10 m possuía 36 mudas, de seis espécies, distribuídas em seis linhas, com espaçamento de 2 m x 2 m (Figura 1), totalizando 864 mudas e área total de efetivo plantio de 0,24 ha. A parcela útil possuía 6 m x 6 m, com 16 mudas distribuídas em quatro linhas, apresentando uma linha externa de bordadura (Figura 1).

Para o fator “A”, foram testados diferentes tipos de adubação, sendo que na adubação química foi utilizado o fertilizante de liberação controlada (FLC) (NPK 15-08-12 Mg^{+2}), 12 meses de liberação, na dosagem de 5 g L^{-1} , conforme recomendação do fabricante, totalizando 135 gramas cova⁻¹. Na adubação orgânica foi utilizado esterco bovino curtido (Apêndice K), na dosagem de cinco litros por cova (NAVE et al., 2009), além do tratamento que não recebeu nenhuma adubação (testemunha). As adubações foram adicionadas na cova, no momento do plantio, misturando-se com o solo, para então realizar o plantio. Com relação ao fator “B”, para compor a parcela com cobertura morta sobre o solo, imediatamente após o plantio, utilizou-se o resíduo seco do cultivo de trigo (*Triticum* sp.), disponível na área. Essa palhada foi picada com auxílio de uma colhedora munida de picador, distribuído em toda a parcela, com camada de aproximadamente 10 cm de espessura (Apêndice J).

No primeiro e segundo ano após o plantio, foi realizada a adubação de manutenção, com os mesmos adubos e quantidades utilizados inicialmente, em cada tratamento, sendo dispostos em covetas laterais no entorno das mudas. A reposição da cobertura morta nas parcelas não foi possível, diante da indisponibilidade de material na região.

Adicionalmente, o monitoramento do experimento foi realizado de forma contínua, observando-se na fase inicial do experimento a necessidade de cercamento da área, como forma de reduzir a proximidade de aplicação do herbicida utilizado na área agrícola adjacente. Além disso, as demais atividades de monitoramento realizadas encontram-se descritas no Capítulo II, e foram realizadas quando necessário.

15.4 ATRIBUTOS ANALISADOS

A análise da sobrevivência foi realizada de maneira visual, mediante a contagem dos indivíduos vivos, aos 60 dias após o plantio, sendo expressa em porcentagem.

Os atributos morfológicos altura (H) e diâmetro do coleto (DC) foram mensurados no tempo (0, 180, 360, 540, 720 e 900 dias após o plantio), com auxílio de régua (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente.

A matéria seca aérea (MSA) foi determinada na última avaliação (900 dias após o plantio). Para isso, duas plantas, selecionadas aleatoriamente de cada espécie e tratamento, foram cortadas ao nível do solo com auxílio de motosserra, sendo a parte aérea fracionada e subdividida em folhas, galhos e caule. Em seguida, realizou-se a pesagem dos respectivos pesos frescos, sendo o material acondicionado em sacos de papel Kraft e transportado ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. No Laboratório, o material foi seco em estufa com circulação de ar a 65 °C até peso constante, visando à determinação da matéria seca das folhas, galhos e caule (Apêndice L).

Concomitante a MSA e com a mesma intensidade amostral, também foi determinada a área foliar específica, mediante amostragem de 30 folhas, coletadas aleatoriamente na copa, pesadas e após, mantidas refrigeradas. Para determinação, as folhas foram distribuídas sobre papel branco A4 com escala milimétrica, coberta por vidro transparente e fotografadas, com câmera digital apoiada em uma estrutura com altura fixa de 0,48 m e zoom de 1.4. As imagens foram tratadas e processadas com auxílio do *software* Image J. Após, o material foi seco em estufa de circulação de ar forçado a 65 °C até que atingisse peso constante, e então pesado em balança analítica (0,001g) (Apêndice L). A área foliar total da planta foi obtida conforme adaptações da metodologia descrita por Coelho Filho et al. (2012), utilizando a seguinte fórmula:

$$AF = \frac{(MSTF * AF30F)}{MS30F}$$

Em que: AF= área foliar; MSTF= matéria seca de todas as folhas; AF30F= área foliar de 30 folhas; e MS30F= matéria seca de 30 folhas.

Com relação aos atributos fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*, teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides; atividade da enzima fosfatase ácida; conteúdo de fósforo solúvel; e atividade da enzima superóxido dismutase), as metodologias utilizadas para coleta e análise dos mesmos encontram-se descritas no item 3.5.2. As análises fisiológicas foram realizadas no final do experimento (900 dias), para as espécies *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera* e *S. terebinthifolius*, não sendo realizada a análise da fluorescência da clorofila *a* em *P. rigida*, conforme especificado no item 3.5.2.

Além desses, atributos como a densidade e infiltração de água no solo, cujas metodologias encontram-se descritas no item 3.5.3, também foram analisados. Essas análises foram feitas em dois ambientes: área experimental e área adjacente, a qual é utilizada com agricultura sendo no ano anterior à implantação do experimento cultivada com trigo (*Triticum* sp.), e após, anualmente com soja (*Glycine max*).

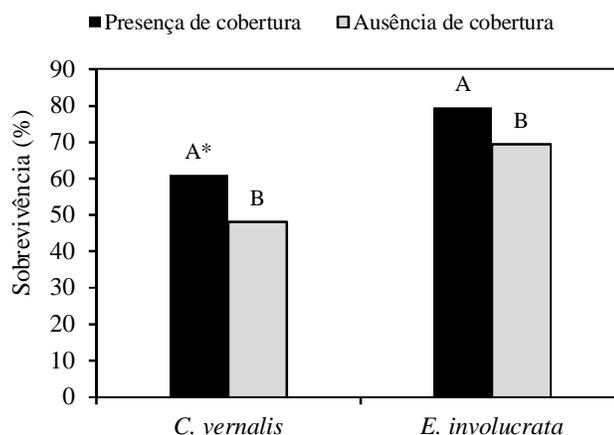
15.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente, os dados de sobrevivência, atributos morfológicos e fisiológicos foram submetidos aos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando as pressuposições foram atendidas, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) considerando esquema fatorial (3 x 2) (tipos de adubação x cobertura morta), sendo as análises dos atributos morfológicos (H e DC) consideradas no tempo. Constatada diferença significativa entre os tratamentos, efetuou-se comparação de médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ou análise de regressão (para as variáveis H e DC consideradas no tempo). As análises foram realizadas utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2014).

16 RESULTADOS

De maneira geral, a sobrevivência das espécies variou de 61 a 86%. *C. sylvestris* (77,1%), *I. vera* (83,3%), *P. rigida* (84,7%) e *S. terebinthifolius* (86,1%) apresentaram comportamento semelhante quanto à sobrevivência, não sendo influenciadas pela adubação e/ou pela cobertura morta. Por outro lado, *C. vernalis* e *E. involucrata* apresentaram maiores taxas de sobrevivência em mudas implantadas com cobertura morta (*mulching*) no solo, com valores de 61,1 e 79,6%, respectivamente (Figura 14).

Figura 14 - Sobrevivência de mudas de *C. vernalis* e *E. involucrata* aos 60 dias após plantio em área de mata ciliar, no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

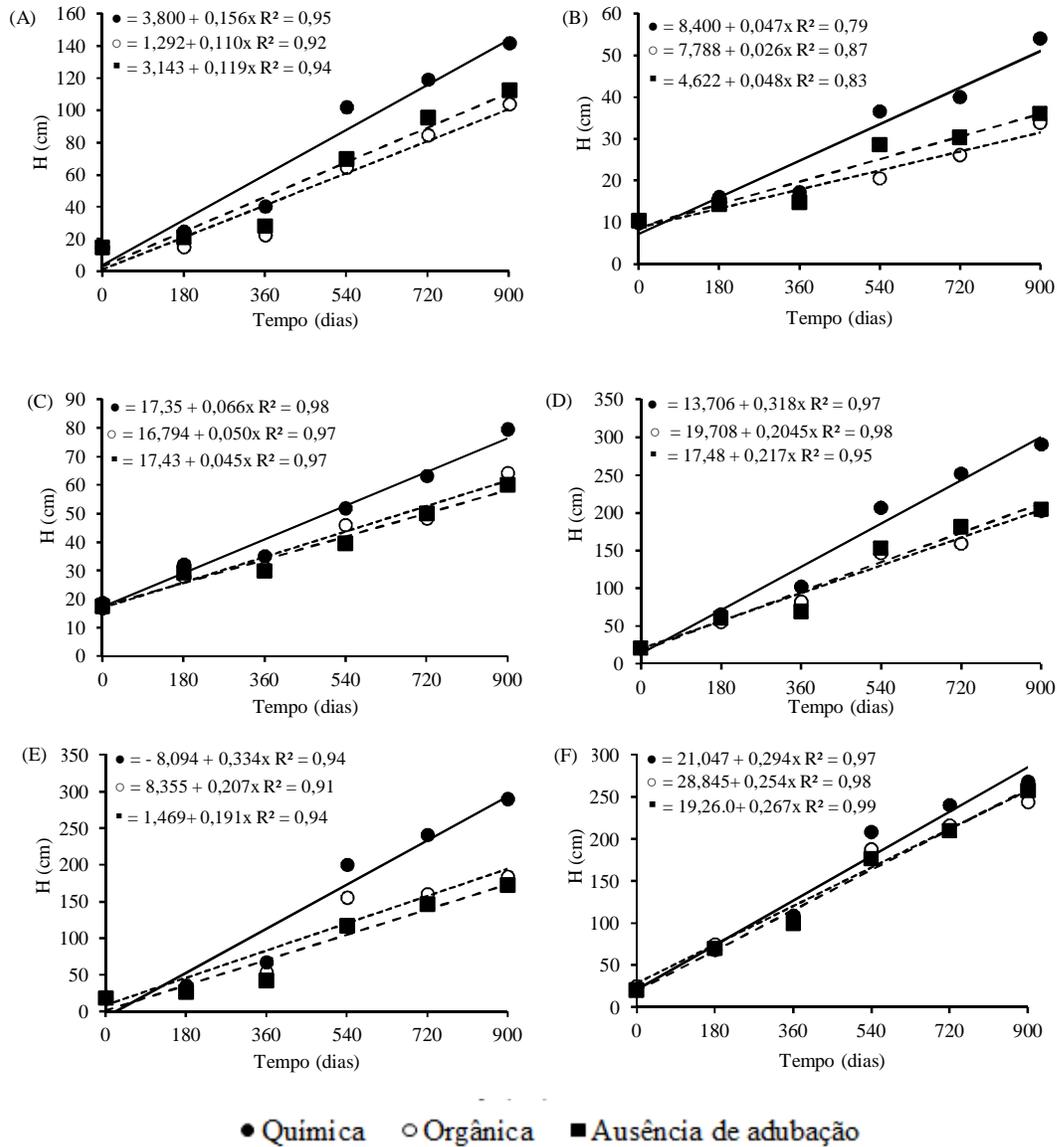


*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

C. sylvestris, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera* e *P. rigida* apresentaram maior crescimento tanto em altura (H) quanto em diâmetro do coleto (DC) quando utilizado fertilizante químico (FLC) na adubação das mudas, independente da cobertura do solo (Figura 15 e 16). Para ambos os atributos, essas espécies apresentaram crescimento linear com o tempo, atingindo, aos 900 dias após plantio, H de 141,9 cm e DC de 35,6 mm (*C. sylvestris*), H de 54,0 cm e DC de 12,5 mm (*C. vernalis*), H de 79,7 cm e DC de 20,4 mm (*E. involucrata*), H de 291,1 cm e DC de 90,6 mm (*I. vera*) e H de 290,0 cm e DC de 51,2 mm (*P. rigida*), quando adubadas com FLC (Figura 15 e 16), o qual se destacou desde a avaliação aos 180 dias após plantio.

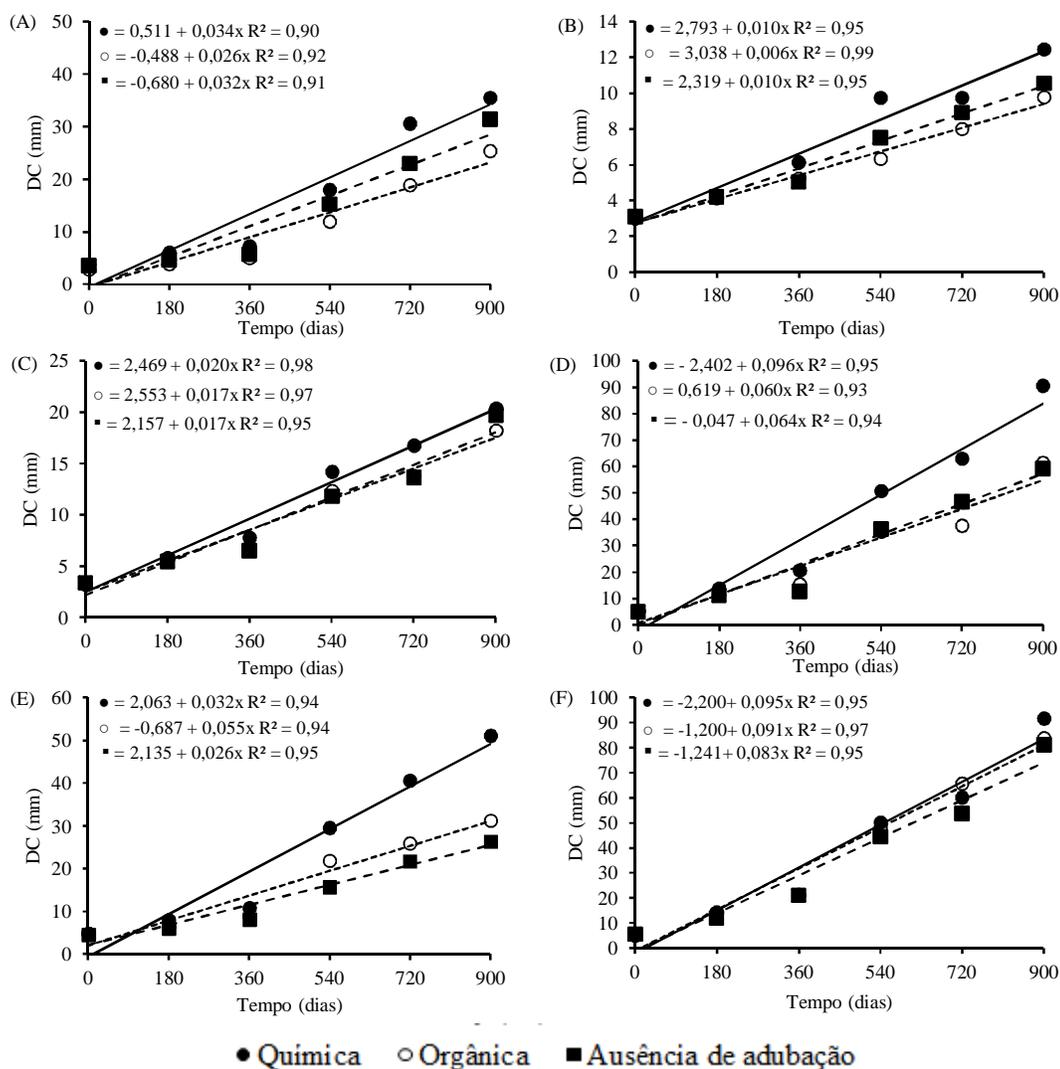
Figura 15 - Crescimento em altura (H) de *C. sylvestris* (A), *C. vernalis* (B), *E. involucrata* (C), *I. vera* (D), *P. rigida* (E) e *S. terebinthifolius* (F), com diferentes adubações em plantio no extremo sul do Bioma Mata Atlântica



Fonte: A autora (2017).

Por outro lado, *S. terebinthifolius* não apresentou influência dos fatores analisados, mas também evidenciou maior H (268,7 cm) e DC (91,8 mm) sob adubação com fertilizante químico, quando comparado com adubação orgânica (H: 244,6 cm e DC: 83,9 mm) e na ausência de adubação (H: 257,7 cm e DC: 81,2 mm) (Figura 15 e 16).

Figura 16 - Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de *C. sylvestris* (A), *C. vernalis* (B), *E. involucrata* (C), *I. vera* (D), *P. rigida* (E) e *S. terebinthifolius* (F), com diferentes adubações em plantio no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

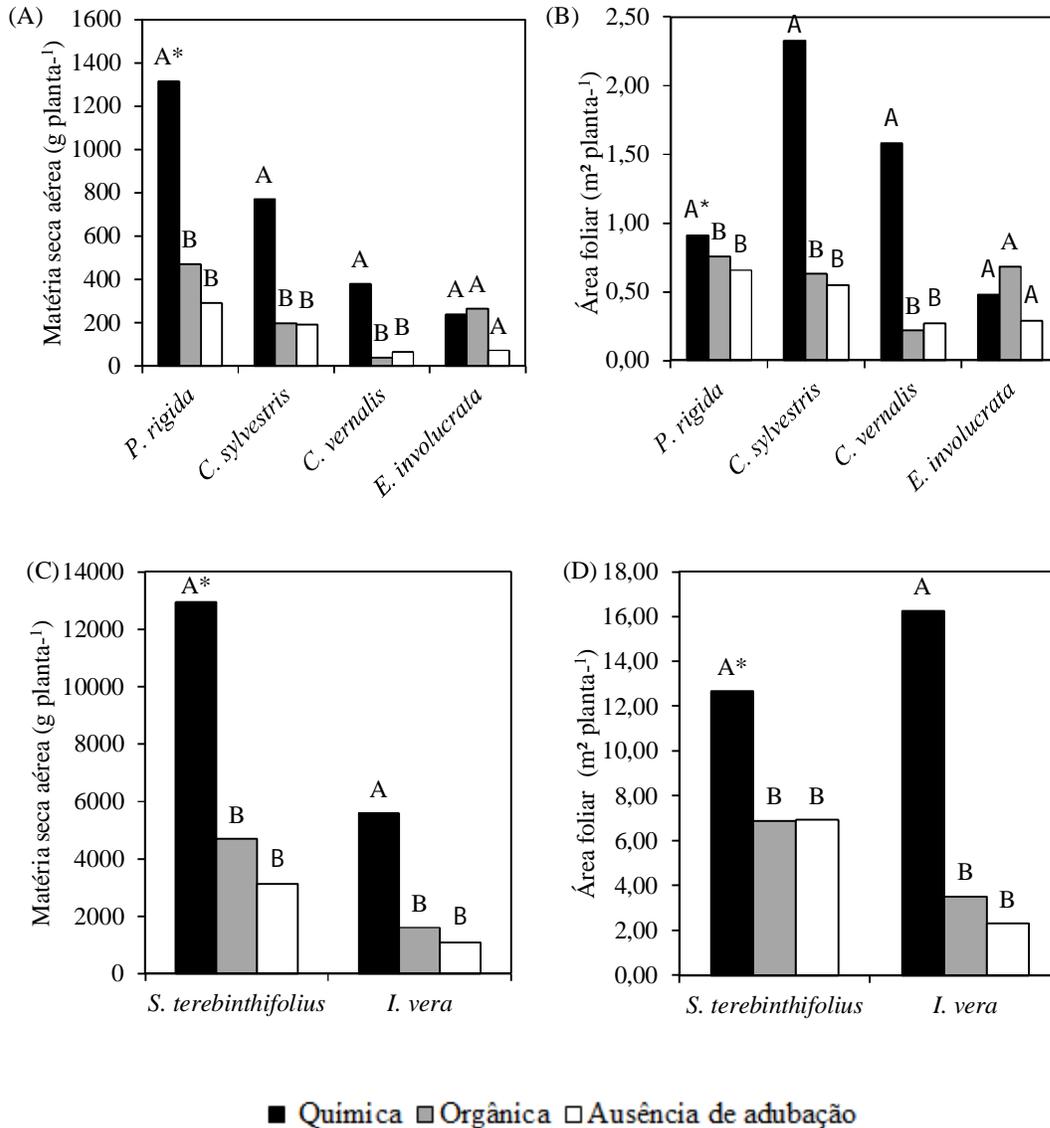


Fonte: A autora (2017).

Outros atributos morfológicos como a MSA e AF também apresentaram maiores valores com a adubação química, independente da cobertura no solo, corroborando com o evidenciado para H e DC. Aos 30 meses após plantio, *P. rigida* (MSA: 1.316 g planta⁻¹ e AF: 0,91 m² planta⁻¹), *C. sylvestris* (MSA: 773 g planta⁻¹ e AF: 2,33 m² planta⁻¹) e *C. vernalis* (MSA: 380 g planta⁻¹ e AF: 1,58 m² planta⁻¹), apresentaram valores muito superiores aos demais tratamentos quando utilizado adubação química (FLC) (Figura 17 A e B). De forma semelhante, *S. terebinthifolius* (MSA: 12.933 g planta⁻¹ e AF: 12,7 m² planta⁻¹), e *I. vera* (MSA: 5.594 g planta⁻¹ e AF: 16,2 m² planta⁻¹) (Figura 17 C e D), também apresentaram

valores superiores aos demais tratamentos quando utilizada adubação química (FLC). Para essas mesmas variáveis, a espécie *E. involucrata* não apresentou efeito de nenhum dos fatores analisados (Figura 17 A e B).

Figura 17 - Matéria seca aérea (A e C) e área foliar (B e D), aos 900 dias após a implantação de seis espécies florestais nativas com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica



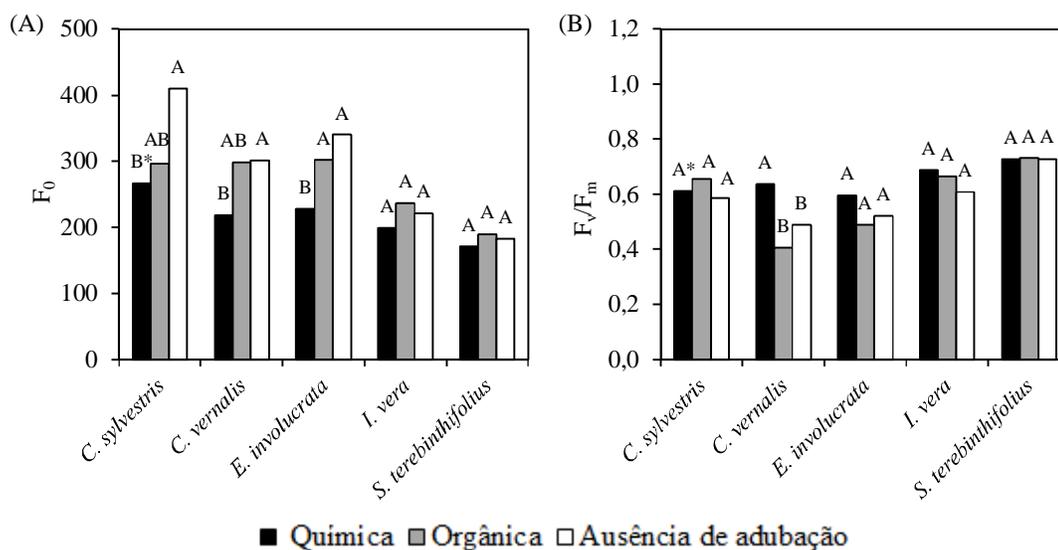
*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

Em relação aos atributos fisiológicos relacionados com a fluorescência da clorofila *a*, tais como F_0 , F_m , F_v/F_m e ETR, a F_m e ETR não apresentaram efeito significativo dos fatores testados, aos 900 dias após plantio, para nenhuma das seis espécies (Apêndice M).

A fluorescência inicial (F_0) e o rendimento quântico máximo do PS II (F_v/F_m) apresentaram somente efeito isolado do fator adubação. *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *E. involucrata* apresentaram maiores valores de F_0 na ausência de adubação e quando utilizada adubação orgânica (Figura 18 A). Quanto a F_v/F_m , *C. vernalis* foi a espécie que apresentou a maior diferença entre os tratamentos para esse parâmetro. O maior rendimento quântico do fotossistema II foi obtido quando essa espécie recebeu a adubação química (FLC) com 0,637 (Figura 18 B).

Figura 18 - Fluorescência inicial (F_0) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) aos 900 dias após a implantação de cinco espécies florestais nativas, com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

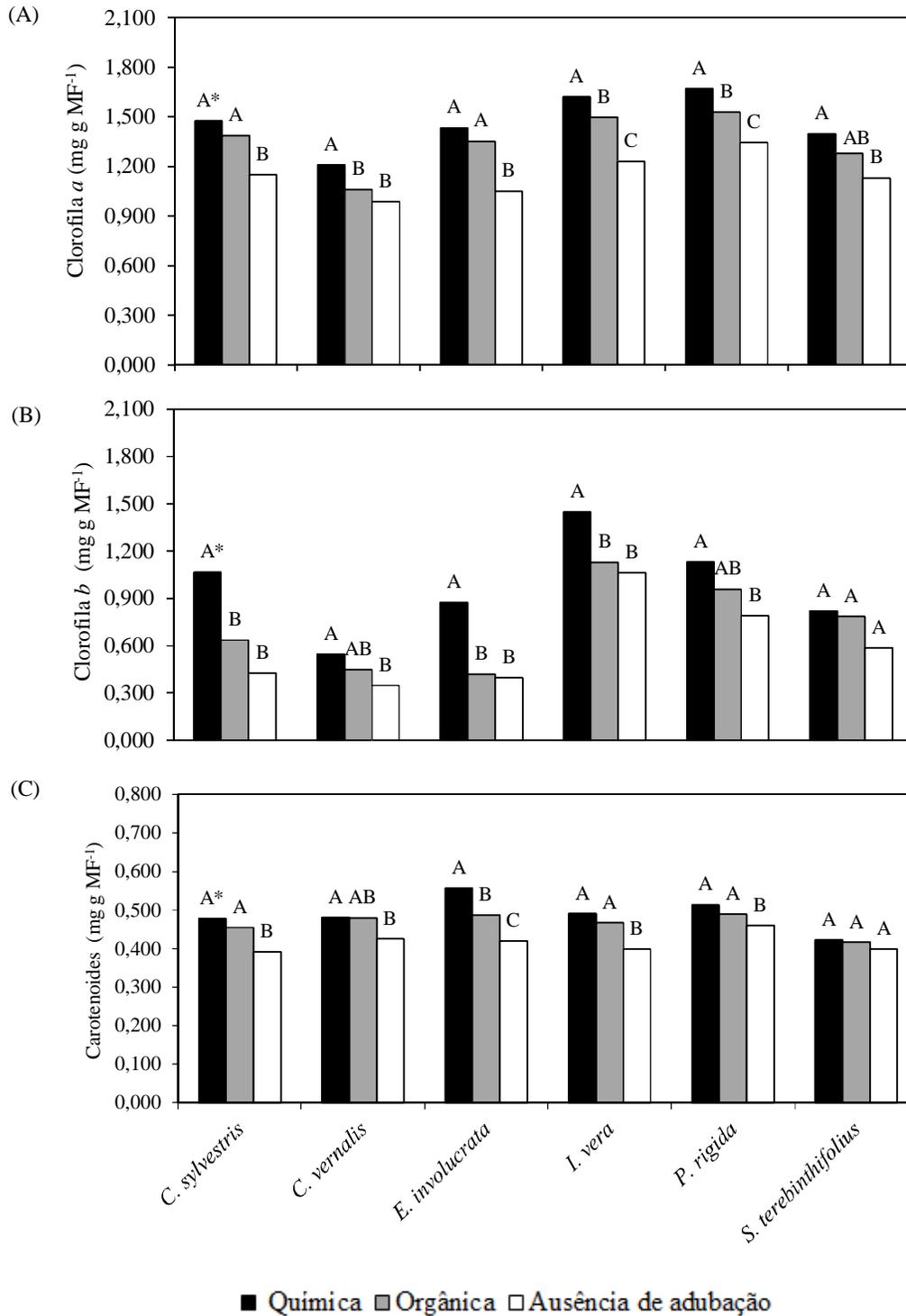


*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

Dos atributos fisiológicos destrutivos (bioquímicos), o teor de pigmentos fotossintéticos também apresentou efeito isolado do fator adubação (Figura 19).

Figura 19 - Teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides de seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica



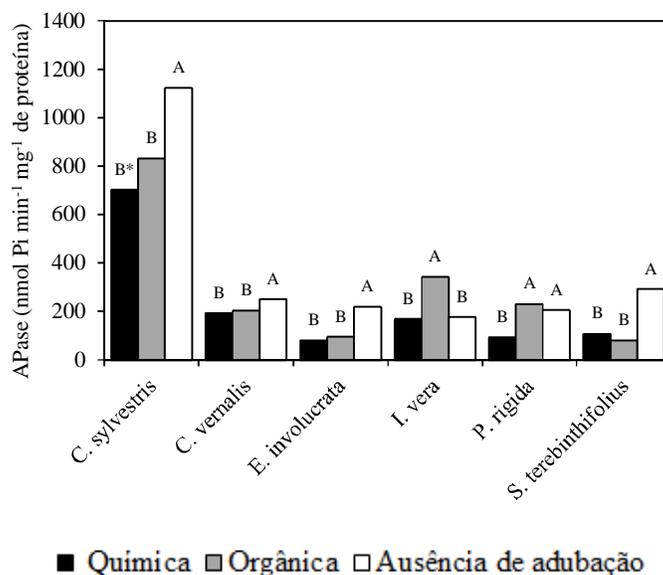
*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

Os pigmentos fotossintéticos apresentaram maiores teores em *C. sylvestris* (clorofila *a*: 1,474; clorofila *b*: 1,067; e carotenoides: 0,479 mg g MF⁻¹), *C. vernalis* (clorofila *a*: 1,210; clorofila *b*: 0,547; e carotenoides: 0,481 mg g MF⁻¹), *E. involucrata* (clorofila *a*: 1,434; clorofila *b*: 0,874; e carotenoides: 0,557 mg g MF⁻¹), *I. vera* (clorofila *a*: 1,621; clorofila *b*: 1,449; e carotenoides: 0,491 mg g MF⁻¹) e *P. rigida* (clorofila *a*: 1,672; clorofila *b*: 1,130; e carotenoides: 0,514 mg g MF⁻¹) com a utilização de adubação química (FLC) (Figura 19). *S. terebinthifolius* também apresentou maior teor de clorofila *a* na adubação química (1,397 mg g MF⁻¹), a qual não influenciou a clorofila *b* e carotenoides (Figura 19 A e B).

A enzima fosfatase ácida (APase) apresentou maiores valores no tratamento sem adubação para *C. sylvestris* (1.222,43 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína), *C. vernalis* (251,56 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína), *E. involucrata* (218,37 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína), *P. rigida* (206,16 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína) e *S. terebinthifolius* (292,22 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína) (Figura 20). Com base nisso, é possível presumir que as espécies apresentam valores específicos quanto a APase, sendo que *C. sylvestris* apresenta valores muito superiores as demais espécies, mesmo no melhor tratamento. Entretanto, quanto ao conteúdo de fósforo solúvel (Pi), não houve influência dos fatores em nenhuma das seis espécies estudadas (Apêndice N).

Figura 20 - Atividade da enzima fosfatase ácida (APase) em seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica

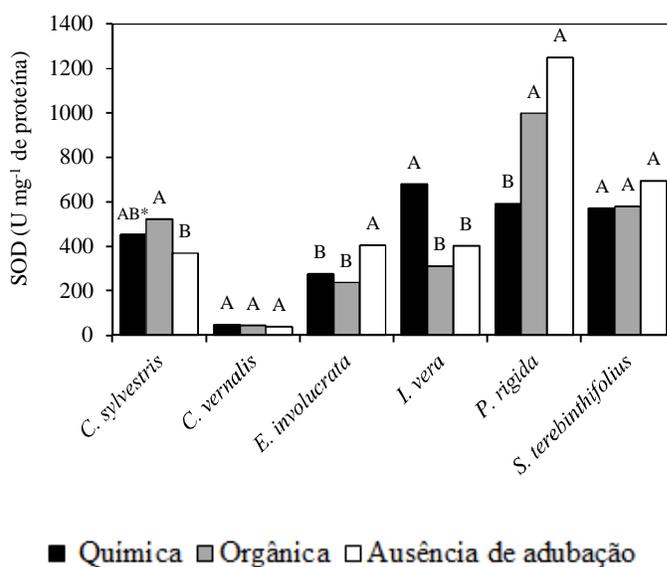


*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autora (2017).

Quanto à avaliação do sistema antioxidante, a atividade da enzima SOD apresentou comportamento diferenciado entre as espécies. *E. involucrata* e *P. rigida* apresentaram maiores valores na ausência de adubação (405,09 e 1.248,38 U mg⁻¹ proteína, respectivamente). Por outro lado, para *C. sylvestris* e *I. vera* a utilização de adubação orgânica e/ou química proporcionou maior atividade da enzima (Figura 21). Entretanto, a determinação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), uma das espécies reativas de oxigênio (ROS), não foi significativa para nenhum dos fatores analisados (Apêndice N).

Figura 21 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em seis espécies florestais nativas, aos 900 dias após a implantação com diferentes adubações em plantio de mata ciliar no extremo sul do Bioma Mata Atlântica



*Médias seguidas da mesma letra maiúscula para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

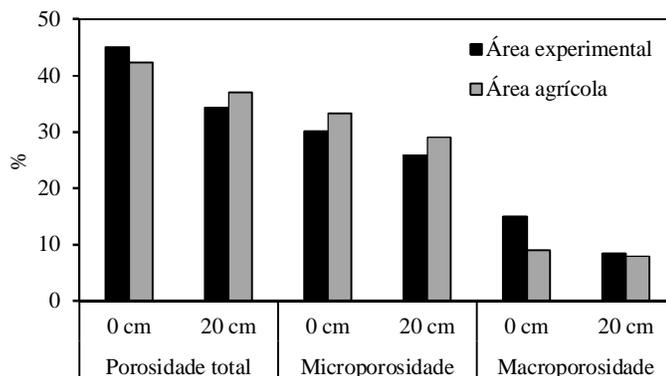
Fonte: A autora (2017).

Adicionalmente aos atributos morfofisiológicos avaliados, as características físicas do solo (umidade, densidade, porosidade e infiltração de água) demonstraram maior densidade do solo (Ds) na área agrícola (adjacente ao experimento), com valores de 1,45 e 1,55 g cm⁻³, enquanto que na área experimental, foi de 1,32 e 1,35 g cm⁻³, nas profundidades de 0 e 20 cm, respectivamente.

Por outro lado, na área de condução do experimento, o solo apresentou maior umidade (22,7%) quando comparado à área agrícola (20,2%). Além disso, a área experimental também demonstrou maior porosidade total e macroporos na superfície (0 cm), entretanto na camada

20 cm a área agrícola apresentou maior porosidade total e percentual de microporos (Figura 22).

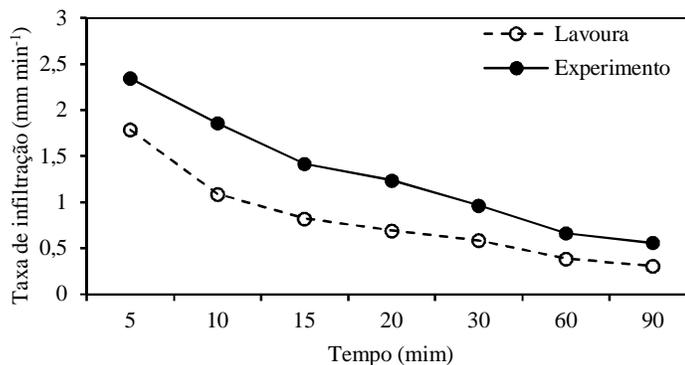
Figura 22 - Porosidade do solo em área experimental e área agrícola, aos 900 dias, extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil



Fonte: A autora (2017).

A taxa de infiltração também foi superior no solo da área com plantio de espécies arbóreas, atingindo $2,3 \text{ mm min}^{-1}$ (5 minutos), enquanto que no campo nativo os valores nessa medição foram $1,8 \text{ mm min}^{-1}$ (Figura 23).

Figura 23 - Taxa de infiltração de água no solo (mm min^{-1}) em área experimental e área agrícola, aos 900 dias, extremo sul do Bioma Mata Atlântica, Brasil



Fonte: A autora (2017).

17 DISCUSSÃO

A sobrevivência de *C. sylvestris* (77,1%), *I. vera* (83,3%), *P. rigida* (84,7%) e *S. terebinthifolius* (86,1%) pode ser considerada elevada aos 60 dias após o plantio. Essas espécies pertencem ao grupo sucessional das pioneiras a secundárias iniciais (BACKES; IRGANG, 2009), com bom desenvolvimento a pleno sol, o que, possivelmente, foi determinante para as maiores taxas de sobrevivência, principalmente diante do aumento da temperatura mensal em dezembro (25,6 °C) e janeiro (26,6 °C), meses sucessivos ao plantio, destacando-se que tal resposta foi independente ao uso de cobertura.

Entretanto, nesse estudo, mesmo que *C. sylvestris*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* tenham apresentado elevada sobrevivência, sugere-se o replantio das mudas dessas espécies, visando a rápida cobertura da área, o que também foi sugerido por Piña-Rodrigues, Reis e Marques (1997) e Nave et al. (2009), que indicam implantação de mudas substitutivas, quando a mortalidade for superior a 5%.

Outro fato que deve ser salientado é a necessidade de isolamento da área em recuperação, que apesar de recomendado somente quando há presença de gado na área adjacente, também é fundamental quando o entorno é destinado a uso agrícola, como no presente estudo. Isso foi constatado devido a deriva por herbicida, que foi prejudicial ao estabelecimento, principalmente, de *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *E. involucrata*, espécies consideradas como as mais susceptíveis à ação desses produtos (dados não apresentados).

Por outro lado, a sobrevivência de *C. vernalis* e *E. involucrata* foi influenciada pela presença de cobertura no solo, com 79,6 e 61,1%, respectivamente. A maior sobrevivência evidenciada em mudas dessas espécies com a utilização da cobertura morta pode ser atribuída, conforme Bezerra e Cantalice (2006), a maior infiltração e retenção de água no solo, além da redução das perdas de água pelo solo, proporcionada pelo *mulching*, aumentando assim a eficiência de seu uso pelas plantas.

Nesse sentido, na implantação de *C. vernalis* e *E. involucrata* e outras espécies com características ecológicas semelhantes, com pouca plasticidade, tem-se duas possibilidades: a) introduzi-las como espécies de diversidade, misturadas às outras de preenchimento, ciente de que um percentual expressivo de mortalidade poderá ocorrer; e b) aguardar que a cobertura das espécies de maior crescimento ocorra e, então, introduzi-las, quando as variações de temperatura e umidade do solo forem mais estáveis e favoráveis. Essa última hipótese resgata a teoria descrita pelos pesquisadores Kageyama e Gandara (2009), em que espécies pioneiras

(\cong preenchimento) devem ser introduzidas inicialmente, o que preparará o ambiente às espécies tardias (\cong diversidade).

O crescimento foi crescente ao longo do tempo e as espécies *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera* e *P. rigida* demonstraram influência do fator adubação, enquanto a cobertura do solo não proporcionou diferenças para as mesmas (Figura 15 e 16, A-E). *S. terebinthifolius*, entretanto, demonstrou sua plasticidade e rusticidade no desenvolvimento, não sendo influenciada por nenhum dos fatores (Figura 15 F e 16 F). Isso corrobora com o descrito por Kageyama e Gandara (2009), Carvalho (2003) e Lenzi e Orth (2004), os quais relataram a plasticidade de colonização da espécie em diversos ambientes, incluindo solos pouco férteis, rasos e pedregosos, além de locais com elevado nível de antropização.

A maioria das espécies apresentaram, até 30 meses após o plantio, maior crescimento em H, DC, MSA e AF com o uso de adubação química (fertilizante de liberação controlada - FLC). A utilização desse tipo de adubação vem sendo avaliada em viveiros e no plantio a campo, visando diminuir perdas de nutrientes por lixiviação além de reduzir a mortalidade das mudas no pós-plantio (LANG et al., 2011).

As vantagens proporcionadas pelo FLC podem ser atribuídas ao fato desse fertilizante apresentar os nutrientes revestidos por resina, sendo liberados gradativamente (VALERI; CORRADINI, 2005). Além disso, a liberação gradual dos nutrientes quando comparada a um fertilizante de pronta liberação, pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular, pois mesmo quando disponibilizado próximo à planta, não possui efeito salino prejudicial às raízes (SCIVITTARO; OLIVEIRA; RADMANN, 2004).

Lang et al. (2011), avaliando o estabelecimento a campo de mudas de *Handroanthus avellanadae* (ipê-roxo) e *Anadenanthera colubrina* (angico-branco) também na região Sul do Brasil, evidenciaram que para H e DC, o FLC apresentou os maiores incrementos quando comparado ao fertilizante convencional NPK (16-08-12) até 360 dias, o que confirma a presente pesquisa. Assim, embora a adubação química representada pelo uso do FLC apresente maior custo, o mesmo fornece nutrientes por um período de tempo prolongado, que nesse estudo foi por 12 meses, conforme especificado pelo fornecedor. Após, nova adubação pode ser realizada para um adequado suprimento nutricional das plantas.

Cabe destacar que a quantidade, principalmente de N, disponibilizada as plantas quando aplicado o adubo orgânico (cinco litros por planta), representa aproximadamente 10 gramas de N por planta⁻¹ (Apêndice k). Essa quantidade é inferior à disponibilizada pelo FLC (20 gramas de N por planta⁻¹). Assim, quando ocorrer à utilização de adubo orgânico, que embora, na maioria dos casos, se encontra disponível na propriedade, sem custo de aquisição

pelo produtor rural, ou eventualmente, no caso de compra, o mesmo é comercializado informalmente na região, a um custo de aproximadamente R\$ 10,00 (saco com 50 litros de esterco de curral curtido), a sua utilização deverá considerar a necessidade de aplicação de uma maior quantidade por planta. Isso, nesse estudo, representa pelo menos 10 litros por planta⁻¹. Entretanto, em termos operacionais, a aplicação e incorporação desse adubo com o solo nas covas no momento do plantio poderá comprometer a sua utilização, devido ao grande volume de adubo a ser aplicado.

Adicionalmente, o adubo orgânico, apesar de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo, requer, conforme Galvão, Miranda e Santos (1999) a atividade dos microrganismos para mineralizar e disponibilizar os nutrientes para as plantas. Nesse caso, o efeito do mesmo pode ter sido reduzido devido ao histórico de uso da área de plantio, utilizada a décadas com cultivos agrícolas e submetida à aplicação constante de produtos químicos como herbicidas, fungicidas e inseticidas.

O uso de produtos químicos a base de glifosato, por exemplo, além de oferecer riscos de contaminação para o solo e os recursos hídricos, apresenta, conforme Imfeld e Vuilleumier (2012) impactos negativos sobre os componentes bióticos do ecossistema, especialmente a microbiologia do solo. Esses microrganismos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, desempenham importantes funções na condução dos ciclos biogeoquímicos, controle de patógenos e resistência a perturbações (NEWMAN et al., 2016; PRASHAR; KAPOOR; SACHDEVA, 2014). Como a área de plantio encontra-se inserida em uma matriz de atividade agrícola com constante realização de práticas pouco sustentáveis de uso dos recursos naturais, possivelmente, a atividade microbiana encontrava-se comprometida. Como consequência, os nutrientes presentes no adubo orgânico (esterco de gado curtido) foram mais lentamente mineralizados, sendo insuficientes para nutrição das plantas.

Exceto na sobrevivência de *C. vernalis* e *E. involucrata*, a presença/ausência de cobertura do solo não apresentou influência para nenhuma outra espécie e atributo avaliado. Esses resultados divergem parcialmente dos encontrados por Lourenço et al. (2001), cuja presença de cobertura morta independente da adubação, proporcionou maior produtividade de massa verde foliar em plantas de *Ilex paraguariensis* (erva-mate). Os resíduos vegetais proporcionam benefícios na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo, sendo relatado por Chabat (2010), uma temperatura máxima 6 °C menor, temperatura mínima 2 °C maior e amplitude térmica 40% menor, nas profundidades de 5 e 10 cm do solo, quando comparado com a ausência de cobertura.

No entanto, nessa pesquisa, a cobertura do solo não proporcionou benefícios aos atributos morfológicos e fisiológicos das plantas, possivelmente pelo fato de ter sido aplicada somente após o plantio, devido à indisponibilidade de material para reposição ao longo do tempo. Silva e Corrêa (2008), avaliando o crescimento até os 18 meses de seis espécies arbóreas em área minerada utilizando cavacos de madeira no entorno das mudas também não observaram efeito do *mulching*. Esses autores recomendaram a realização de avaliações futuras para confirmar ou refutar a eficiência da cobertura em áreas em processo de recuperação, o que também é válido nesse estudo.

Quanto as variáveis da fluorescência da clorofila *a*, *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *E. involucrata* apresentaram os maiores valores de F_0 no tratamento sem adubação. O complexo coletor de luz dos fotossistemas é composto pelo sistema antena (clorofilas *a*, *b* e carotenoides) e por um par especial de clorofilas *a*, esse em especial, responsável pela transferência de elétrons para os transportadores localizados no esquema Z da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2002). No momento da transferência dos elétrons é que pode acontecer também a perda de energia por calor ou por fluorescência (reemissão em um comprimento de onda maior), essa última correspondendo a fluorescência da clorofila *a*.

Nessa situação, essas espécies estão dissipando a energia excedente mediante a reemissão de radiação na região do vermelho e vermelho distante (STIRBET; GOVINDJEE, 2011). Como *C. sylvestris*, *C. vernalis* e *E. involucrata* apresentaram maior fluorescência inicial e menor crescimento no tratamento sem adubação, pode-se inferir que a maior parte dos elétrons envolvidos no processo fotossintético estão sendo direcionados à via não fotoquímica, como fluorescência, e/ou esteja ocorrendo dano aos fotossistemas, em resposta aos fatores estressantes.

Outro aspecto relacionado diretamente com o crescimento, refere-se aos pigmentos fotossintéticos. Nos fotossistemas, esses pigmentos encontram-se dispostos de maneira que os carotenoides, clorofila *b* e a clorofila *a* são responsáveis pela absorção de luz e transferência de energia por ressonância para os centros de reação, enquanto que somente um par especial de clorofilas *a* tem a função de realizar a transferência de elétrons para os transportadores, localizados no esquema Z. Essas reações são de fundamental importância para que outros processos, os quais dependem diretamente dos produtos gerados no esquema Z, possam ocorrer, e assim, resultar na síntese de compostos de carbono, representados pela biomassa das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Assim, plantas com maior teor de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e carotenoides), como foi evidenciado em todas as espécies quando utilizado adubação química

(Figura 18), apresentam potencial para realizar elevadas taxas fotossintéticas (RÊGO; POSSAMAI, 2004). O maior teor de pigmentos fotossintéticos no tratamento com a adubação química pode ser atribuído ao aporte nutricional, especialmente nitrogênio e magnésio, proporcionado pelo FLC. Esses dois elementos presentes no FLC são os constituintes da molécula de clorofila, a qual é composta por um átomo central de magnésio ligado a outros quatro átomos de nitrogênio por meio de anéis pirrólicos (TAIZ; ZEIGER, 2002). O aumento no teor de clorofilas pode ter influência positiva direta no crescimento das plantas, pela maior absorção da radiação luminosa.

Com relação a enzima fosfatase ácida (APase) evidenciou-se que *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram maior atividade da APase no tratamento sem adubação, enquanto *I. vera* demonstrou maior atividade da enzima com uso da adubação orgânica (Figura 20). As APases podem tornar-se ativas quando as plantas encontram-se sob estresses como deficiências nutricionais e hídricas, salinidade e ataque de patógenos (BOZZO; RAGHOTHAMA; PLAXTON, 2002). Na deficiência de fósforo, por exemplo, pode ocorrer um aumento da atividade das APases, sendo por isso consideradas como indicadoras do estado nutricional das plantas (ROSSI; MONTEIRO, 1999), mesmo antes do aparecimento dos sintomas visuais de deficiência (BESFORD, 1979).

Assim, a atividade das APases aumenta à medida que se eleva a deficiência desse nutriente (ASCENCIO, 1994). Nesse sentido, como ambos os tratamentos (adubação orgânica e sem adubação) além da maior atividade da enzima APase proporcionaram o menor crescimento para as seis espécies, pode-se considerar que essas enzimas encontravam-se ativas devido ao estresse nutricional causado pelo baixo aporte de fósforo do adubo orgânico e pela ausência de adubação das mudas.

Corroborando com a situação de estresse indicada pela APase, a avaliação do sistema antioxidante seguiu essa tendência para *E. involucrata* e *P. rigida*, com maior atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) no tratamento sem adubação (Figura 20). Segundo Barbosa et al. (2014), as plantas superiores produzem respostas fisiológicas e bioquímicas quando expostas a estresses bióticos e/ou abióticos. Segundo esses autores, essas respostas refletem diretamente no sistema de defesa antioxidante, que envolve a atividade da enzima SOD, entre outras, as quais tentam reduzir o dano oxidativo.

A enzima SOD é considerada a primeira linha de defesa da planta contra o ânion superóxido, e atua na quebra desse radical, transformando-o em peróxido de hidrogênio e água (FAVARETTO et al., 2011). Após, outras enzimas que compõem o sistema antioxidante são encarregadas de transformar essa espécie reativa de oxigênio (ROS), até que água e

oxigênio resultem no produto final. *E. involucrata* e *P. rigida* apresentaram alta atividade da SOD nos indivíduos que não receberam adubação, indicando a existência de estresse oxidativo nas plantas expostas a esse tratamento. Assim, ao correlacionar essa informação com o menor crescimento dessas duas espécies na ausência de adubação, é possível afirmar que o sistema antioxidante não está sendo suficientemente eficiente na neutralização das ROS, resultando em dano oxidativo decorrente da ausência de adubação. Entretanto, até o momento, exceto o menor crescimento, sintomas visuais de deficiência nutricional não foram evidenciados, o que pode ser atribuído à rusticidade das espécies nativas, que toleram situações adversas.

De forma complementar, a análise do ambiente (área experimental e área adjacente) permitiu evidenciar melhor qualidade física do solo avaliado na área experimental, após 2,5 anos do início da recuperação do ambiente. A área com o plantio das espécies arbóreas apresentou menor densidade do solo (Ds), em ambas as profundidades (Ds 0 cm: 1,32 g cm⁻³; Ds 20 cm: 1,35 g cm⁻³), em relação à área agrícola (Ds 0 cm: 1,45 g cm⁻³; Ds 20 cm: 1,55 g cm⁻³), bem como maior umidade, macroporosidade e infiltração de água no solo (Figura 21 e 22).

Todos esses atributos apresentam estreita relação com o uso do solo, que quando manejado com práticas sustentáveis, apresenta melhor qualidade e com isso favorece o desenvolvimento das espécies/culturas. Albuquerque, Sangoi e Ender (2001), relataram que uma das principais causas da compactação do solo, em áreas cultivadas, pode ser atribuída ao intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Isso ocorre, principalmente, quando o preparo é executado frequentemente, levando à sua compactação (SOUZA; ALVES, 2003).

Solos compactados apresentam um aumento na densidade e maior resistência à penetração de raízes, o que contribui para redução linear da porosidade total e da macroporosidade (BEUTLER et al., 2005). Tal efeito foi evidenciado nesse estudo, em que o solo da área experimental, quando comparado à área agrícola, apresentou maior densidade e macroporosidade.

Adicionalmente, a análise da infiltração de água é um dos atributos que melhor reflete a condição física interna do solo, pois uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo (ALVES; CABEDA, 1999). Esse atributo também demonstrou superioridade na área experimental. Conforme relatado por Vanzela, Hernandez e Franco (2010), locais com presença de vegetação como as matas apresentam maior capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, favorecendo assim a manutenção de nascentes e rios.

Assim, destaca-se a importância do isolamento das áreas em processo de recuperação dos fatores de degradação. Aliado a isso, o recobrimento do solo proporcionado pela cobertura vegetal contribui para melhorar a qualidade física do mesmo. Com isso, além de favorecer o crescimento das espécies, tem-se uma melhoria ambiental mediante a conservação dos recursos naturais.

18 CONCLUSÃO

C. sylvestris, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram elevada sobrevivência em plantio de mata ciliar, entretanto a sobrevivência não foi influenciada pela adubação e/ou cobertura morta. Por outro lado, *C. vernalis* e *E. involucrata* apresentaram maior sobrevivência quando utilizado cobertura morta (*mulching*) sobre o solo.

A adubação química influenciou positivamente o crescimento em campo de *C. sylvestris*, *C. vernalis*, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*.

A presença de cobertura morta (*mulching*) sobre o solo não demonstrou efeito sobre o crescimento de todas as espécies analisadas. Entretanto, estudos adicionais considerando a reposição desse material ao longo do tempo em áreas em processo de recuperação devem ser considerados para confirmar essa tendência.

19 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No experimento 1, *C. sylvestris*, *E. involucrata*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius* apresentaram os melhores comportamentos silviculturais no campo. Essas espécies florestais também se mostraram tolerantes à geada e/ou com potencial de retomada do crescimento, sendo indicadas para uso em projetos de restauração em regiões propensas a incidência de geadas, como as regiões de clima subtropical. Adicionalmente, o uso de mudas produzidas em sacos de polietileno com adubação verde (leguminosa), é a melhor alternativa para proporcionar o rápido crescimento das mudas dessas espécies.

C. sylvestris, *E. involucrata*, *I. vera*, *P. rigida* e *S. terebinthifolius*, no experimento 2, também foram responsivas a adubação, com melhor desenvolvimento quando utilizado fertilizante químico (fertilizante de liberação controlada). Assim, de forma geral, esse fertilizante representa o tratamento que melhor condiciona, morfológica e fisiologicamente, o desenvolvimento das seis espécies analisadas. Por outro lado, apenas a utilização de cobertura morta, visando a melhoria do ambiente após o plantio, não mostrou-se eficiente.

Em ambas as situações, destaca-se o potencial para estabelecimento e crescimento de *S. terebinthifolius*. Essa pode ser considerada como espécie-chave para o restabelecimento de áreas ciliares alteradas no Sul do Brasil, formando a estrutura inicial de cobertura vegetal da área, posteriormente atraindo a fauna silvestre dispersora de sementes.

Destaca-se a importância da caracterização do comportamento silvicultural das arbóreas nativas no campo em longo prazo, como base nas respostas morfofisiológicas. Assim, a silvicultura de nativas torna-se uma aliada da restauração florestal, pois as informações técnicas servirão como subsídios para implantação de programas de recuperação de áreas nesse Bioma. Com isso, é possível reduzir os custos e acelerar o retorno do equilíbrio e funcionalidade desses ecossistemas, mediante a utilização de espécies promissoras, associadas a práticas silviculturais que potencializam o desenvolvimento das mesmas.

Adicionalmente, ressalta-se a necessidade de isolamento das áreas em processo de recuperação. Isso deve ser realizado tanto para impedir o acesso de animais quando o entorno for destinado à pecuária, mas também quando a área adjacente for destinada a uso agrícola. Nesse último caso, o isolamento pode ser feito mediante cercamento da área e/ou com cortina de vegetação herbácea e arbustiva, que se regenera naturalmente na região, evitando possíveis danos causados pelo uso contínuo de produtos químicos comumente utilizados em cultivos agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M. et al. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, v.45, n.1, p.1141-150, 2015.
- AFONSO, M. V. et al. Composição do substrato, vigor e parâmetros fisiológicos de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1019-1026, 2012.
- AJALA, M. C. et al. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas e no crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. no Oeste Paranaense. **Semina**, Londrina, v.33, n.6, p.2039-2046, 2012.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.717-723, 2001.
- ALMEIDA, R. F. de. et al. Aspectos florísticos, históricos e ecológicos do componente arbóreo do Parque da Independência, São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v.5, n.3, p.18- 41, 2010.
- ALMEIDA, C. M. et al. Análise de agrupamentos em remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 781-789, 2015.
- ALVARENGA, R. C. et al. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- ALVARENGA, A. P.; BOTELHO, S. A.; PEREIRA, I. M. Avaliação da regeneração natural na recomposição de matas ciliares em nascentes na região sul de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v.12, n.4, p.360-372, 2006.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.4, p.753-761, 1999.
- ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.887-893, 2012.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.617-625, 2007.

- ANDRADE, G. A. et al. Temperatura mínima letal para plantas jovens de pinhão-manso. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 799-803, 2008.
- ARAUJO, M. M. et al. Análise de agrupamento da vegetação de um fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial, Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p.133-147, 2004.
- ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, New York, v. 25, p. 1553-1564, 1994.
- BACKES, P.; IRGANG, B., **Árvores do Sul**: guia de identificação & Interesse Ecológico. 2 ed. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2009, 322p.
- BAKER, N., ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1607-1621, 2004.
- BARBOSA, L. M. et al. Efeitos de geadas em mudas de espécies arbóreas de mata ciliar utilizadas em ensaios de campo. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 7, n.1, p. 95-105, 1993.
- BARBOSA, M. R. et al. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.453-460, 2014.
- BARROSO, D. G. et al. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *E. urophylla* S.T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 291-296, 2000.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, Amsterdam, v.8, n.44, p.276-287, 1971.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp.* In: GONÇALVES, J. L. DE M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 2000. p. 105-133.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.
- BENNETT, E. Slow-release fertilizers. **Virginia Gardener Newsletter**, Blacksburg, v. 11, n. 4, 1996. Disponível em: <www.ext.vt.edu/departments/envirohort/articles/misc/slowrels.html>. Acesso em: 11 dezembro de 2016.
- BERGHETTI, A. L. P. et al. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v.11, n.28, p.2450-2455, 2016.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

- BERTACCHI, M. I. F. et al. Establishment of tree seedlings in the understory of restoration plantations: natural regeneration and enrichment plantings. **Restoration Ecology**, Washington, v. 24, n. 1, p. 100-108, 2016.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, SP: Ed. Ícone, 1990. 355p.
- BESFORD, R. T. Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in the leaves of seven plant species. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 30, p. 281-285, 1979.
- BEUTLER, A. N. et al. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p.843-849, 2005.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entressulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob o cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.565-573, 2006.
- BIANCHIN, J. E.; BELLÉ, P. A. Fitossociologia e estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial em Santa Maria – RS. **Agro@ambiente Online**, Boa vista, v.7, n.3, p.322-330, 2013.
- BILDANOVA, L. L.; SALINA, E. A.; SHUMNY, V. K. Main properties and evolutionary features of antifreeze proteins. **Russian Journal of Genetics: Applied Research**, Moscou, v. 3, n. 1, p. 66-82, 2013.
- BILIA, D. A. D.; BARBEDO, C. J. Estudos da germinação e armazenamento de sementes de *Inga uruguensis* Hook. et Arn. **Científica**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 379-391, 1997.
- BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Planta**, Berlim, v. 161, p. 490-504, 1984.
- BOMFIM, A. A. et al. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.33-40, 2009.
- BOZZO, G. G.; RAGHOTHAMA, K. G.; PLAXTON, W. C. Purification and characterization of two secreted purple acid phosphatase isozymes from phosphatestarved tomato (*Lycopersicon esculentum*) cell cultures. **European Journal of Biochemistry**, Berlin, v. 269, n. 24, p. 6278-6286, 2002.
- BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Pelthophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 223-232, 2010.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantity of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Amsterdam v.72, p.248-254, 1976.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo com palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n. 3 p.369-374, 1990.

BRANCALION, P. H. S. et al. Fase 2: Plantio de árvores nativas brasileiras fundamentada na sucessão florestal. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. v. 1. p. 14-23.

BRANCALION, P. H. S. GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Fase 3: Restauração baseada na sucessão determinística, buscando reproduzir uma floresta definida como modelo. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009a. v. 1. p. 24-30.

BRANCALION, P. H. S. GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Fase 5: Incorporação do conceito da diversidade genética na restauração ecológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009b. v. 1. p. 37-54.

BRANCALION, P. H. S. et al. Legal instruments can change enhance high-diversity tropical forest restoration. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 set. 1965. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em 10 novembro de 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio. 2012. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.htm#art83>. Acesso em 10 de novembro de 2016.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.3, p. 35-51, 2008.

BUDKE, J. C. et al. Florística e fitossociologia do componente arbóreo de uma floresta ribeirinha, arroio Passo das Tropas, Santa Maria, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.18, n.3, p.581-589, 2004.

CALEGARI, A. et al. **Adubação verde no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria de Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. 346p.

CALLEGARO, R. M.; ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J. Fitossociologia de agrupamentos em Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Quarta Colônia, Agudo - RS. **Agrária**, Recife, v.9, n.4, p.590-598, 2014.

CALMON, M. et al. Emerging threats and opportunities for biodiversity conservation and ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, Washington, v. 19, n. p.154-158, 2011.

CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; MENDES, J.C.T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology Management**, Amsterdam, 259, 1808–1814, 2010.

CAMPOE, O. C. et al. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: from leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 313, 233–242, 2014.

CANTU, R. R. et al. Uso de malhas pigmentadas e *mulching* em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, p. 810- 815, 2013.

CARNEVALI, N. H. S. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas implantadas em pastagem degradada. **Floresta**, Curitiba, v.46, n.2, p. 277-286, 2016.

CARON, B. O. et al. Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 817-822, 2011.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. Embrapa Florestas, v. 1, 2003, 1039p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Embrapa Informação Tecnológica. Embrapa Florestas, v. 2, 2006, 627p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, v. 3, 2008. 593p.

CASTRO, D.; MELLO, R. S. P.; POESTER, G. C. **Práticas para restauração da mata ciliar**. Porto Alegre: Catarse, Coletivo de Comunicação, 2012, 60p.

CATTERALL, C. P. et al. Can active restoration of tropical rainforest rescue biodiversity? A case with bird community indicator. **Biological Conservation**, Oxford, v. 146, n.1, p.53-61, 2012.

CAVALCANTI, S. B. T. et al. New tetra-acetylated oligosaccharide diterpene from *Cupania vernalis*. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 413-416, 2001.

CAVALLARI, M. M. et al. Population genetic relationships between *Casearia sylvestris* (Salicaceae) varieties occurring sympatrically and allopatrically in different ecosystems in south-east Brazil. **Annals of Botany**, Oxford, v. 106, n.4, p.627–636, 2010.

CHABAT, M. M. **Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo**. 2010. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

- CHARRA-VASKOU, K. et al. Drought and frost resistance of trees: a comparison of four species at different sites and altitudes. **Annals Forest Science**, Romania, v. 69, p. 325–333, 2012.
- CHOI, Y. D. Theories for ecological restoration in changing environment: toward “futuristic” restoration. **Ecological Research**, Japan, v. 19, n.1, p.75–81, 2004.
- CLOSE, D. C. et al. Influences of seedling size, container, type and mammal browsing of the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. **New Forests**, Netherlands, v. 39, p. 105-115, 2010.
- COELHO FILHO, M. A. et al. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.529–538, 2012.
- CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro-região Sul**. Brasília: MMA, 2011. 934 p.
- CRUZ C. A. F. et al. Resposta de Mudanças de *Senna macranthera* (Dc. Ex Coollad.) H. S. Irmin & Barnaby (fedegoso) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico a macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.1, p.13- 24, 2010.
- CURRAN, T. J.; REID, E. M.; SKORIK, C. Effects of a Severe Frost on Riparian Rainforest Restoration in the Australian Wet Tropics: Foliage Retention by Species and the Role of Forest Shelter. **Restoration Ecology**, Washington, v. 18, n. 4, p. 408–413, 2010.
- DALMAGO, G. A. et al. Aclimação ao frio e dano por geada em canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 933-943, 2010.
- DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. p.83-124.
- DIAS, M. C. et al. Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares do Rio Iapó, na bacia do Rio Tibagi, Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 183-195, 1998.
- DONADIO, L. C.; MÔRO, F. V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas Brasileiras**. Jaboticabal: Ed. Novos Talentos, 2002. 288p.
- DUFF, S. M. G.; SARATH, G.; PLAXTON, W. C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 90, n. 4, p. 791–800, 1994.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Dados eletrônicos; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013, 353p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e Crescimento das Árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v.7. n.1. 2005.

EPSTEIN; E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. Trad. M. E. T. Nunes. Londrina, Editora Planta, 2006, 401p.

ERASMO, E. A L. et al. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, p.337-342, 2004.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global Forest Resources Assessment 2015**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/aif.asp>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2015.

FAVARETTO, V. F. et al. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late-successional tropical tree species grown under sun and shade conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v.70, n.1, p.20–28, 2011.

FENNER, R. et al. Plantas utilizadas na medicina popular brasileira com potencial atividade antifúngica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v.42, n. 3, p. 369-394, 2006.

FEREZ, A. P. C. et al. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 350, p. 40–45, 2015.

FERMINO, M. H. **Substratos**: composição, caracterização e métodos de análise. Guaíba: Agrolivros, 2014, 112p.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee Et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.413-423, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p.179-182, 2014.

FERREIRA, P. M. P. et al. Folk uses and pharmacological properties of *Casearia sylvestris*: a medicinal review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, n.4, p.1373-1384, 2011.

FERRETTI, A. R. et al. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 73-84, 1995.

FERRETTI, A. R.; BRITZ, R. M. A restauração da Floresta Atlântica no litoral do Estado do Paraná: os trabalhos da SPVS. In: GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (Ed.). **Restauração Florestal**: fundamentos e estudos de caso. Colombo: Embrapa Florestas. p. 87-102, 2005.

FIGLIOLIA, M. B.; KAGEYAMA, P. Y. Maturação de sementes de *Inga uruguensis* Hook. et Arn. em floresta ripária do rio Moji-Guaçu, município de Moji-Guaçu SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, n. 6, p.13-52, 1994.

FILHO, A. K. N. et al. Espécies recomendadas para a restauração da Mata Atlântica. In: GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. S. **A restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Embrapa Florestas, Colombo, PR, p. 77-132, 2002.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência do espaçamento e idade da brotação na morfometria de povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hill. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 73-88, 2003.

FLORIANI, M. M. P. et al. Relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis Totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 165-174, 2013.

FONTANA, A.; OLIVEIRA, A. P.; Levantamento e caracterização de solos frágeis no município de Luís Eduardo Magalhães, BA. In: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. (ed) **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015, p.73- 88.

FONTES, R. V. et al. Atividade da redutase e fluorescência da clorofila *a* em mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.252-254, 2008.

FOURRIER, N. et al. A role for sensitive to freezing in protecting chloroplasts against freeze-induced damage in Arabidopsis. **The Plant Journal**, Malden, v. 55, n.5, p.734–745, 2008.

FRANZON, R. C.; RASEIRA, M. C. B. Germinação *in vitro* e armazenamento do pólen de *Eugenia involucrata* DC (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 18-20, 2006.

FREIRE, J. L. O. et al. Atributos qualitativos do maracujá amarelo produzido com água salina, biofertilizante e cobertura morta no solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.1, p. 102- 110, 2010.

FREITAS, J. Z. **Esterqueiras para dejetos bovinos**. Niterói: Programa Rio Rural, Programa Rio Rural. Manual Técnico 4, 2008, 8p.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C. Adubação orgânica. **Revista Cultivar**, Pelotas, n. 9, p. 38-41, 1999.

GATTI, M. G. et al. Frost resistance in the tropical palm *Euterpe edulis* and its pattern of distribution in the Atlantic Forest of Argentina. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 633-640, 2008.

GAZELL, A. C. F. et al. Tree species richness, does it play a key role on a forest restoration plantation? **Bosque**, Valdivia, v.33, p.245-248, 2012.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of Soil Analysis: part I. 2. ed.** Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 383- 411.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1097-1104, 2003.

GIACOMINI, S. J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.1-25, 2004.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v.48, n.59, p.315-318, 1977.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. Viçosa, MG: UFV, 2011. 116 p. (Série Didática).

GONÇALVES, J. L. M. et. al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p.309-50.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 219-267.

GUY, C. et al. Metabolomics of temperature stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 132, n.2, p. 220–235, 2008.

HAHN, C. M. et al. **Recuperação florestal**: da semente à muda. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente para a Conservação e Produção Florestal do Estado de São Paulo, 2006. 144p.

HIGA, R. C. V. et al Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 67-76, 2000.

HINCHA, D. K.; ESPINOZA, C.; ZUTHER, E. Transcriptomic and metabolomic approaches to the analysis of plant freezing tolerance and cold acclimation. In: Tuteja, N. et al. Eds. **Improving Crop Resistance to Abiotic Stress**, Germany, v. 1-2, Berlin, Wiley-Blackwell, 2012.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. Method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique**, Ottawa, v.57, n.12, p.1332-1334, 1979.

HOBBS, R. J. Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. **Restoration Ecology**, Washington, v. 15, n. 2, p. 354–357, 2007.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n.10, p.1558–1563, 2011.

HOLLAND, V. et al. Drought- and frost-induced accumulation of soluble carbohydrates during accelerated senescence in *Quercus pubescens*. **Trees**, Berlin, v. 30, p.215–226, 2016.

IMFELD, G.; VUILLEUMIER, S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: a critical review. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v.49, p. 22–30, 2012.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Fertilization. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries**. Agriculture Handbook 730. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service 1, p. 201-215, 2009.

JACOBSEN, S. E. et al. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **European Journal of Agronomy**, Netherlands, v. 26, n. 4, p. 471-475, 2007.

JOHANN, S. et al. Antifungal properties of plants used in brazilian traditional medicine against clinically relevant fungal pathogens. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 38, p. 632-637, 2007.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2009. p.249-269.

KELLER, L. et al. Sistema de blocos prensados para a produção de mudas de três espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.2, p.609-617, 2009.

KLIMOV, S. V. et al. Ability of winter wheat plants to become hardened against frost related to peculiarities of carbon dioxide exchange, biomass synthesis, and various forms of water soluble carbohydrates. **Plant Physiology**, Rockville, v. 37, n. 2, p. 168–173, 2010.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 125 - 136, 2013.

KRATZ, D. et al. Substratos renováveis para a produção de mudas de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, Curitiba, v.45, n.2, p.393-408, 2015.

LACERDA, D. M. A.; FIGUEIREDO, P. S. Restauração de matas ciliares do rio Mearim no município de Barra do Corda, MA: seleção de espécies e comparação de metodologias de reflorestamento. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.2, p.295-304, 2009.

LANG, A. et al. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n.2, p. 271-276, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000, 531p.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 115-150.

LELES, P. S. S. et al. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.90, p.231-239, 2011.

LENZI, M.; ORTH, A. I. Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), em restinga da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 17, n.2, p. 67-89, 2004.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids - pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, New York, v.148, p.350-382, 1987.

LIMA-JÚNIOR, E. C. et al. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1092-1097, 2005.

LIMA, M. R. F. et al. Anti-bacterial activity of some Brazilian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v. 105, n. 1-2, p. 137-147, 2006.

LISBOA, A. C. et al. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.4, p.603-609, 2012.

LONGHI, R. A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do Sul**. Porto Alegre: L&PM, 1995. 176p.

LOPES, E. D.; AMARAL, C. L. F.; NOVAES, A. B. Desempenho no campo de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *Corymbia citriodora* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n.4, p.589-596, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1. 368p.

LORETO, F.; VELIKOVA, V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. **Plant Physiology**, Rockville, v.127, p.1781- 1787, 2001.

LOURENÇO, R. S. et al. Influência da cobertura morta na produtividade da erva-mate. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v.43, p.113-122, 2001.

MANDAL, U.K. et al. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. **European Journal of Agronomy**, Netherlands, v.19, p.225-237, 2003.

MARCUZZO, S. B. **Métodos e espécies potenciais à restauração de áreas degradadas no Parque Estadual da Quarta Colônia, RS**. 2012. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

MARCUZZO, S. B.; ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J. Estrutura e relações ambientais de grupos florísticos em fragmento de Floresta Estacional Subtropical. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.2, p.275-287, 2013.

MARCUZZO, S. B.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em Unidades de Conservação: um estudo de caso no Sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p.129–140, 2015.

MARIN, R. et al. Volatile components and antioxidant activity from some Myrtaceous fruits cultivated in Southern Brazil. **Latin American Journal of Pharmacy**, Buenos Aires, v.27, n.2, p.172-177, 2008.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2007. 255 p.

MARTINS, S. V. et al. Sucessão ecológica: fundamentos e aplicações na restauração de ecossistemas florestais. In: MARTINS, S. V. (Editor). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. 2 ed., Viçosa: Editora UFV, 2012, p.21-52.

MATEUS, G. P.; WUTKE, L. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 3, n.1, p.1-15, 2006.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A.; FILHO, R. V. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.27, n.1, p.101-110, 2006.

MEGHA, S.; BASU, U.; KAV, N. N. V. Metabolic engineering of cold tolerance in plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Netherlands, v.3, n.1, p. 88–95, 2014.

MELCHER, P. J. et al. Determinants of thermal balance in the Hawaiian giant rosette plant, *Argyroxiphium sandwicense*. **Oecologia**, Germany, v. 98, n.3, p. 412–418, 1994.

MELO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.321-328, 2007.

MESQUITA, J. B. et al. Avaliação da composição de substratos e recipientes na produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Natural Resources**, Aquidabã, v.1, n.1, p.37-45, 2011.

MEZZOMO, J. C. et al. Does the quality of *Luehea divaricata* seedlings in the nursery correspond to their behavior in the field? **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 12, n. 8, p. 658-663, 2017.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, Cambridge, v.7, n.9, p.405-410, 2002.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant in Science**, Cambridge, v.22, n.1, p.1-9, 2017.

MUÑOZ-ROMERO, V. et al. Monitoring wheat root development in a rainfed vertisol: Tillage effect. **European Journal of Agronomy**, Netherlands, v. 33, n. 3, 182-187, 2010.

NAPOLITANO, D. R. et al. Macrophages treated with crude plant extracts from the Brazilian Cerrado. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v.99, n.1, p.37-41, 2005.

NAVE, A. G. et al. Descrição das ações operacionais de restauração. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: LERF/ESALQ :Instituto BioAtlântica, 2009. v. 1. p.180-221.

NAVROSKI, M. C. et al. Influencia do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 315 - 328, 2015.

NEVES, C. S. V. J. et al. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de Acácia-negra. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p.897-905, 2005.

NEWMAN, M. M. et al. Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.543, p.155–160, 2016.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 151-187.

ORTEGA, L. S. Temperamento de luz de los arboles del alto Paraná y potencial de regeneración forestal. **Ka'aguy Revista Forestal de Paraguay**, Assunción, v. 11, n.1, p. 16-20, 1995.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2008, 377p.

PARROTTA, J. A.; TURNBULL, J. W.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 99, p. 1–7, 1997.

PATREZE, C. M.; CORDEIRO, L. Nitrogen-fixing and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbioses in some tropical legume trees of tribe Mimoseae. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.196, n.7, p. 275-285, 2004.

PAULUS, G.; MÜLLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 86p.

PELEG, Z.; BLUMWALD, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plantas. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 14, p. 290–295, 2011.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R.; SCARPARI FILHO, J. A. Radiation balance of an orange tree in orchard and its relation with global solar radiation and grass net radiation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.15, n. 3, p. 257-266, 2007.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; REIS, L. L.; MARQUES, S. S. Sistema de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: Bases ecológicas e comparações de custo/benefício com o sistema tradicional. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 4, p.30-41, 1997.

PRASHAR, P.; KAPOOR, N.; SACHDEVA, S. Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, Netherlands, v.13, p. 63–77, 2014.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 7. ed.. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2007. 738p.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*). **Comunicado Técnico 128**, Embrapa, 2004, 4p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.49-134, 2007.

REITZ, R.; KLEIN R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: Sellowia, n. 34-35, p. 1- 525. 1983.

RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies Ativas de Oxigênio na Resposta de Defesa de Plantas a Patógenos. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, v. 28, n.2, p.123-130, 2003.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, 1998, p. 89-166.

RIO GRANDE DO SUL. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Porto Alegre; Santa Maria: SEMA/DEFAP, v. 1, 2002. 706p.

RITCHIE, T. D. et al. Assessing Plant Quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The Container Tree Nursery Manual**. v. 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, cap. 2. p.19-81, 2010.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2009, p. 235-247.

RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, Oxford, v. 142, n.6, p.1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R. R. et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n.10, p. 1605–1613, 2011.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colônia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1101-1110, 1999.

RORATO, D. G. et al. Influência dos fatores ambientais no componente arbóreo de fragmentos florestais em São Francisco de Paula - Rio Grande do Sul. **Cerne**, Lavras, v.21, n.5, p.561-568, 2015.

RORATO, D. G. et al. Effect of different container volumes and concentration of the controlled release fertilizer in the production of *Eugenia involucrata* DC. seedlings. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 11, n. 46, p. 4762-4767, 2016.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Natural regeneration in plantations of native trees in lowland Brazilian Atlantic Forest: community structure, diversity, and dispersal syndromes. **Restoration Ecology**, Washington, v.19, n.3, p.379-389, 2011.

SANTOS, S. S. et al. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. **Horticultura brasileira**, Vitória da Conquista, v.30, n.3, p.549-552, 2012.

SAUSEN, T. L. et al. Avaliação da atividade alelopática do extrato aquoso de folhas de *Eugenia involucrata* e *Acca sellowiana*. **Polibotânica**, México, n. 27, p.145-158, 2009.

SBCS/CQFS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

SCHUMACHER, M. V. et al. **A Floresta Estacional Subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do Planalto Meridional**. Santa Maria: Pallotti, 2011. 320p.

SCIPIONI, M. C. et al. Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos na encosta Meridional da Serra Geral, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p.1295-1301, 2010.

SCIVITTARO, W. B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E. B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta-enxerto 'Trifoliata'. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 520 - 523, 2004.

SCOWCROFT, P. G. et al. Moderating night radiative cooling reduces frost damage to *Metrosideros polymorpha* seedlings used for forest restoration in Hawaii. **Restoration Ecology**, Washington, v. 8, n. 2, p.161-169, 2000.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, p.731-740, 2008.

SOUZA, C. M. et al. **Adubação verde e rotação de culturas**. Ed. UFV, 2012, 108p.

SOUZA, G. C. et al. Farmácias Caseiras Comunitárias do município de Maquiné (RS): uma avaliação etnofarmacológica. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.6, n.2, p. 83-91, 2004.

SOUZA, V. C. et al. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.612–618, 2006.

SOUZA, V. Q. et al. Resistência de espécies arbóreas submetidas a extremos climáticos de geada em diferentes sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.6, p. 972-977, 2011.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n.1, p.27-34, 2003.

SPSS - Statistical Package For The Social Sciences. *SPSS*® 13.0. Chicago, 2004.

STEPONKUS, P. L. et al. Mode of action of the COR15a gene on the freezing tolerance of *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Science**, Washington, v. 95, n.24, p.14570–14575, 1998.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, New York, v.104, p. 236–257, 2011.

STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

TABALDI, L. A. et al. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v. 59, n.1, p.43-48, 2007.

TABALDI, L. A. **Avaliação bioquímica-fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio**. 2008. 181f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

TABARELLI, M. et al. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, Boston, v. 19, n. 3, p. 695–700, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3.ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2002, 690p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TURCHETTO, F. et al. Can transplantation of forest seedlings be a strategy to enrich seedling production in plant nurseries? *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.375, p.96–104, 2016.

VACCARO, S.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Aspectos da composição florística e categorias sucessionais do estrato arbóreo de três Subseres de uma Floresta Estacional Decidual, no Município de Santa Tereza (RS). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-18, 1999.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p.167-190.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55-64, 2010.

VIANA, J. S. et al. Crescimento de mudas de *Bauhinia forficata* Link em diferentes tamanhos de recipientes. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.4, p.663-671, 2008.

VIEIRA, A. R. R.; FEISTAUER, D.; SILVA, V. P. Adaptação de espécies arbóreas nativas em um sistema agrossilvicultural, submetidas a extremos climáticos de geada na região de Florianópolis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 627-634, 2003.

VINCENT, J. B.; CROWDER, M. W.; AVERILL, B. A. Hydrolysis of phosphate monoesters: a biological problem with multiple chemical solutions. **Trends in Biochemical Sciences**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 105–110, 1992.

VIZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.

WARREN, S. L., FONTENO, W. C. Changes in physical and chemical properties of a loamy sand soil when amended with composted poultry litter. **Journal of Environmental Horticulture**, Columbus, v. 11, p.186-190, 1993.

WEINÄRTNER, M. A.; ALDRIGHI, C. F. S.; MEDEIROS, C. A. B. **Adubação Orgânica**. Embrapa Clima Temperado, 1ª ed, 2006, 20p.

WUTKE, E. B. et al. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes**: informações técnicas. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52p.

XUE-XUAN, X. et al. Biotechnological implications from abscisic acid (ABA) roles in cold stress and leaf senescence as an important signal for improving plant sustainable survival under abiotic- stressed conditions. **Critical Reviews in Biotechnology**, Maryland, v. 30, n. 3, p. 222–230, 2010.

YADAV, S. K. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. **Agronomy Sustainable Development**, Le Ulis, v. 30, n. 3, p. 515–527, 2010.

YONEYAMA, T. et al. Expression and characterization of a recombinant unique acid phosphatase from kidney bean hypocotyl exhibiting chloroperoxidase activity in the yeast *Pichia pastoris*. **Protein Expression and Purification**, Wisconsin, v. 53, n.1, p. 31–39, 2007.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Dijon, v.167, p.527-533, 2004.

APÊNDICES

Apêndice A - Valores relativos aos atributos químicos e físicos do solo, e interpretação, conforme a SBCS/CQFS (2004) para as duas áreas de estudo, Nova Palma, RS, em setembro de 2013

Atributos		Área 1	Interpretação	Área 2	Interpretação
Análise Química	pH água	5,2	Baixo	4,9	Muito baixo
	Alumínio (cmol _c .dm ³)	0,3	-	0,8	-
	Cálcio (cmol _c .dm ³)	7,9	Alto	3,8	Médio
	Magnésio (cmol _c .dm ³)	2,5	Alto	1,6	Alto
	Potássio (mg.dm ³)	184,0	Muito alto	108,0	Muito alto
	Fósforo (mg.dm ³)	3,8	Muito Baixo	8,4	Médio
	Enxofre (mg.dm ³)	22,3	Alto	22,0	Alto
	Cobre (mg.dm ³)	0,9	Alto	1,8	Alto
	Zinco (mg.dm ³)	7,3	Alto	3,7	Alto
	Boro (mg.dm ³)	0,4	Alto	0,4	Alto
	MO (%)	2,3	Baixa	2,5	Baixa
	m% (%)	2,6	Baixo	12,3	Médio
	V (%)	73,8	Médio	47,8	Baixo
	CTC efetiva (cmol _c .dm ³)	11,2	Médio	6,5	Baixo
CTC pH 7 (cmol _c .dm ³)	14,7	Muito Baixo	11,9	Muito Baixo	
Atributos		Área 1		Área 2	
Análise Física	Areia grossa (2-0,2 mm)	13,61		19,46	
	Areia fina (0,2-0,05 mm)	32,19		22,70	
	Silte (0,05-0,002 mm)	33,42		30,44	
	Argila (<0,002 mm)	20,77		27,39	
	Classe textural	Franco		Franco	

Sendo: Área 1: experimento 1; Área 2: experimento 2; pH água: acidez ativa; P: fósforo extraído pelo método Mehlich; MO: matéria orgânica; m%: saturação por alumínio; V: saturação por bases; CTC efetiva: capacidade de troca de cátions efetiva; CTC pH7: capacidade de troca de cátions potencial.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice B - Tamanho médio das mudas de seis espécies florestais nativas utilizadas na composição de um arranjo, no momento do plantio do experimento 1 (setembro de 2013) e do experimento 2 (novembro/2013), Nova Palma, RS

Experimento 1				
Recipiente	<i>Casearia sylvestris</i>		<i>Cupania vernalis</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	6,98	38,40	4,50	17,38
Saco	9,28	34,00	5,29	19,59
	<i>Eugenia involucrata</i>		<i>Inga vera</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	6,02	24,89	8,70	43,64
Saco	6,97	29,49	10,47	67,90
	<i>Parapiptadenia rigida</i>		<i>Schinus terebinthifolius</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	6,39	29,50	7,77	50,72
Saco	8,22	43,65	12,43	82,01
Experimento 2				
Recipiente	<i>Casearia sylvestris</i>		<i>Cupania vernalis</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	3,37	14,79	3,08	10,33
	<i>Eugenia involucrata</i>		<i>Inga vera</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	3,30	17,76	5,22	21,59
	<i>Parapiptadenia rigida</i>		<i>Schinus terebinthifolius</i>	
	DC (mm)	H (cm)	DC (mm)	H (cm)
Tubete	4,78	19,30	5,44	22,71

DC: diâmetro do coleto e H: altura.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice C - Avaliação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (A-D) e infiltração de água no solo mediante infiltrômetro de anel (E-F), Nova Palma, RS



Apêndice D - Preparo do solo e demarcação das parcelas (A – B), abertura das covas (C) e plantio das mudas (D - E), setembro de 2013, experimento 1, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

Apêndice E - Danos ocasionados pela geada em indivíduos de *Casearia sylvestris* (A e B), *Cupania vernalis* (C) e *Inga vera* (D), aos 270 dias após a implantação em área ciliar, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

Apêndice F - Adubação verde com as espécies de leguminosas *Canavalia ensiformis* (A-B) e *Vicia sativa* (C-D), cultivadas nas estações sazonais do verão e inverno, respectivamente, experimento 1, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

Apêndice G - Fluorescência inicial (F_0), aos 240 e 720 dias após a implantação de espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		F_0 (240 dias)			F_0 (720 dias)		
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	466,80	565,80	516,30 a	391,20	439,60	415,40 a
	Saco	647,00	672,20	659,60 a	433,40	440,60	437,00 a
	Média	556,90 A	619,00 A		412,30 A	440,10 A	
	CV (%)	31,36			24,04		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	465,40	589,40	527,40 a	436,60	444,80	440,70 a
	Saco	520,20	677,80	599,00 a	430,40	432,20	431,30 a
	Média	492,80 A	633,60 A		433,50 A	438,50 A	
	CV (%)	28,51			24,69		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	323,00	328,60	325,80 a	247,20	264,80	256,00 a
	Saco	272,80	290,80	281,80 a	216,40	253,60	235,00 a
	Média	297,90 A	309,70 A		231,80 A	259,20 A	
	CV (%)	14,94			26,12		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice H - Fluorescência máxima (F_m), aos 240 e 720 dias após a implantação de espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
		F_m (240 dias)			F_m (720 dias)		
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	1000,00	975,80	987,90 a	1013,40	1234,00	1123,70 a
	Saco	1021,40	1087,60	1054,50 a	1021,20	1046,90	1029,00 a
	Média	1010,70 A	1031,70 A		1012,30 A	1140,40 A	
	CV (%)	32,14			22,98		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	874,20	1124,00	999,10 a	981,60	1030,60	1026,20 a
	Saco	945,20	1276,00	1110,60 a	904,00	119,20	1011,60 a
	Média	909,70 A	1200,00 A		942,80 A	1074,90 A	
	CV (%)	30,11			16,62		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	1503,40	1735,80	1619,60 a	790,20	804,00	797,10 a
	Saco	1561,40	1569,60	1565,50 a	803,40	826,00	814,70 a
	Média	1532,40 A	1652,70 A		796,80 A	815,00 A	
	CV (%)	17,89			23,74		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

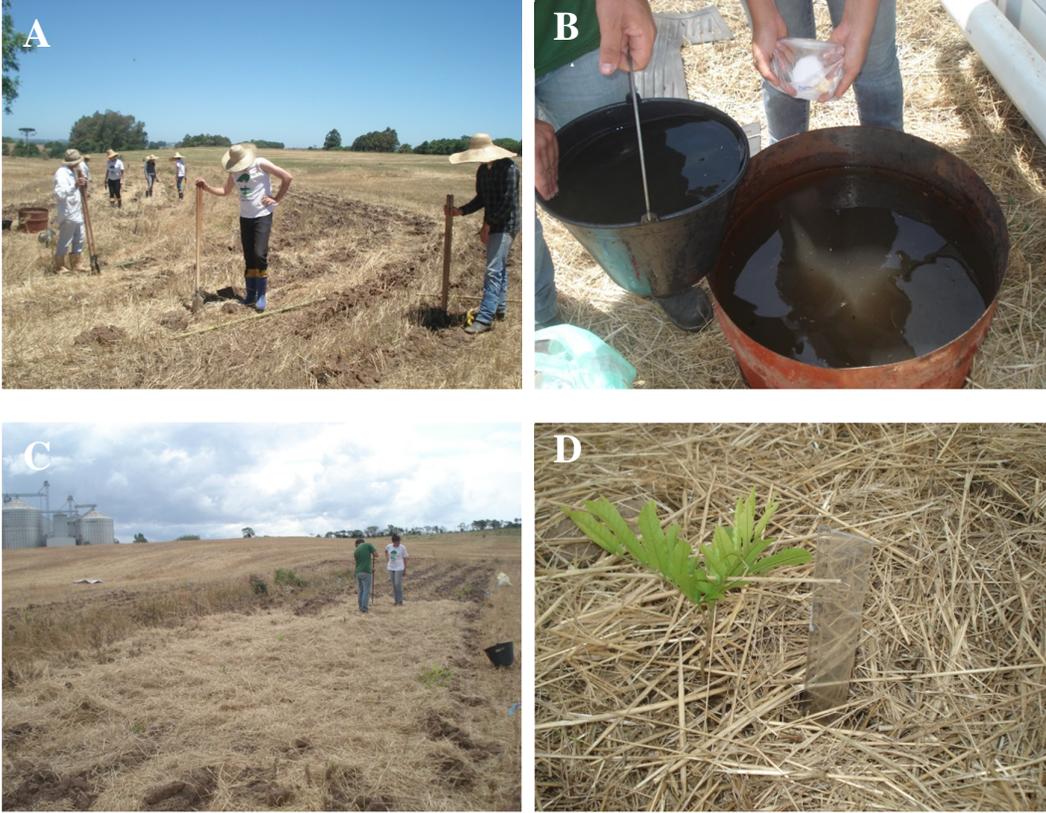
Apêndice I - Teor de carotenoides (mg g MF⁻¹), aos 720 dias após a implantação de quatro espécies florestais, em função de diferentes tipos de recipiente e uso da adubação verde, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Recipiente	Adubação verde		Média
		Presença leguminosa	Ausência leguminosa	
<i>C. sylvestris</i>	Tubete	0,5064	0,4716	0,4890 a
	Saco	0,5883	0,4329	0,5106 a
	Média	0,5473 A	0,4523 A	
	CV (%)	6,78		
<i>E. involucrata</i>	Tubete	0,4413	0,4444	0,4428 a
	Saco	0,4557	0,4403	0,4480 a
	Média	0,4485 A	0,4424 A	
	CV (%)	8,49		
<i>P. rigida</i>	Tubete	0,4766	0,4410	0,4588 a
	Saco	0,4891	0,4644	0,4768 a
	Média	0,4829 A	0,4527 A	
	CV (%)	9,46		
<i>S. terebinthifolius</i>	Tubete	0,3948	0,4497	0,4222 a
	Saco	0,3899	0,4089	0,3994 a
	Média	0,3923 A	0,4293 A	
	CV (%)	11,37		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice J - Abertura das covas (A), preparo do hidrogel (B), plantio das mudas (C) e aplicação da cobertura morta em toda parcela (E), em novembro de 2013, experimento 2, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

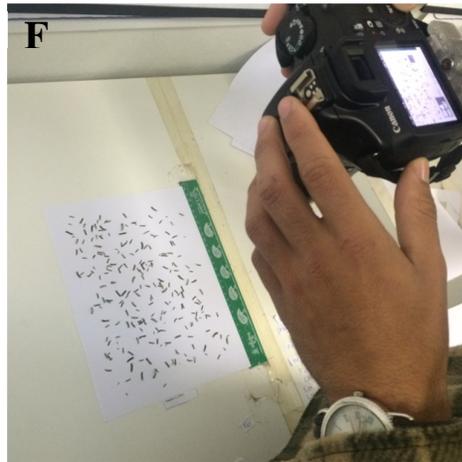
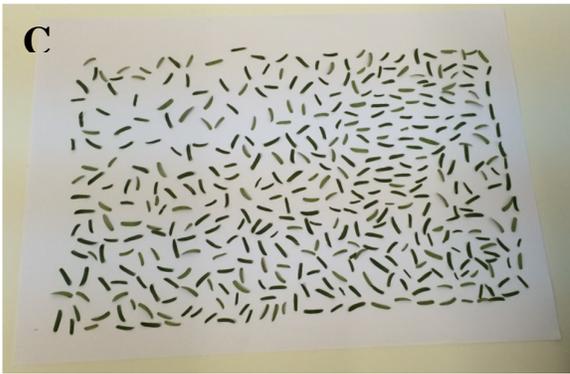
Apêndice K - Características químicas e físicas do resíduo orgânico utilizado no experimento 2, instalado em novembro de 2013, Nova Palma, RS

	Atributos	Esterco bovino curtido
Análise Química	Nitrogênio (%) (m.m ⁻¹)	1,05
	Fósforo (%) (m.m ⁻¹)	0,20
	Potássio (%) (m.m ⁻¹)	1,09
	Cálcio (%) (m.m ⁻¹)	0,57
	Magnésio (%) (m.m ⁻¹)	0,26
	pH	8,2
	Carbono orgânico (%) (m.m ⁻¹)	22,02
Análise Física	Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	0,75
	Densidade úmida (Kg.m ⁻³)	284,24
	Densidade seca (Kg.m ⁻³)	187,69
	Umidade atual (%)	33,99
	Porosidade total (%)	87,25
	Espaço de aeração (%)	29,96
	Água facilmente disponível (%)	21,25
	Água tamponante (%)	6,03
	Água remanescente (%)	30,02
	Capacidade de retenção de água (10) (%)	57,29
	Capacidade de retenção de água (50) (%)	36,04
Capacidade de retenção de água (100) (%)	30,02	

Sendo: Condutividade elétrica obtida em solução 1:5 (v/v); Capacidade de retenção de água (10, 50, 100): capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água, determinado em base volumétrica (v/v). Análise química realizada pelo Laboratório de Análise de solo, Plantas e outros Materiais da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões e análise física realizada pelo Laboratório de Substratos para Plantas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice L - Determinação da matéria seca aérea (A - B) e área foliar específica (C - F) de espécies florestais, aos 900 dias após a implantação do experimento 2, Nova Palma, RS



Fonte: A autora (2017).

Apêndice M - Fluorescência máxima (F_m) e taxa de transporte de elétrons (ETR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de espécies florestais aos 900 dias após a implantação, em função de diferentes tipos de adubação e cobertura morta sobre o solo, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Adubação	Cobertura do solo		Média	Cobertura do solo		Média
		Presença	Ausência		Presença	Ausência	
		F_m			ETR		
<i>C. sylvestris</i>	Química	576,25	740,00	658,12 a	30,84	33,16	32,00 a
	Orgânica	710,75	721,00	715,87 a	29,44	32,12	30,78 a
	Sem adubação	654,50	745,00	699,75 a	30,76	34,11	32,44 a
	Média	647,17 A	735,33 A		30,35 A	33,13 A	
	CV (%)	18,20			21,33		
<i>C. vernalis</i>	Química	628,00	568,5	598,25 a	15,56	20,54	18,06 a
	Orgânica	558,50	579,00	568,75 a	12,61	14,00	13,30 a
	Sem adubação	675,62	565,50	620,56 a	13,42	13,77	13,59 a
	Média	620,71 A	571,00 A		13,86 A	16,10 A	
	CV (%)	25,56			38,28		
<i>E. involucrata</i>	Química	551,25	645,00	598,12 a	16,16	16,60	16,38 a
	Orgânica	545,75	646,25	596,00 a	15,04	17,67	16,36 a
	Sem adubação	668,75	823,50	746,12 a	11,72	13,21	12,46 a
	Média	588,58 A	704,92 A		14,31 A	15,83 A	
	CV (%)	22,16			34,94		
<i>I. vera</i>	Química	625,25	754,75	690,00 a	106,45	113,81	109,88 a
	Orgânica	658,75	831,50	745,12 a	108,60	103,34	105,97 a
	Sem adubação	650,25	677,25	663,75 a	88,74	105,66	97,20 a
	Média	644,75 A	754,50 A		101,26 A	107,44 A	
	CV (%)	21,87			14,55		
<i>S. terebinthifolius</i>	Química	576,25	740,00	658,12 a	30,84	33,16	32,00 a
	Orgânica	710,75	721,00	715,87 a	29,44	32,12	30,78 a
	Sem adubação	654,50	745,00	699,75 a	30,76	34,11	32,44 a
	Média	647,17 A	735,33 A		30,35 A	33,13 A	
	CV (%)	18,20			21,33		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).

Apêndice N - Conteúdo de fósforo solúvel (Pi) ($\mu\text{mol de Pi g MF}^{-1}$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}^{-1}$) de espécies florestais aos 900 dias após a implantação, em função de diferentes tipos de adubação e cobertura morta sobre o solo, em plantio de mata ciliar no extremo Sul do Bioma Mata Atlântica

Espécie	Adubação	Cobertura do solo		Média	Cobertura do solo		Média
		Presença	Ausência		Presença	Ausência	
		Pi			H_2O_2		
<i>C. sylvestris</i>	Química	2,155	2,115	2,135 a	2,690	2,540	2,615 a
	Orgânica	1,600	1,320	1,460 a	2,772	2,698	2,735 a
	Sem adubação	1,812	1,638	1,725 a	2,682	2,770	2,726 a
	Média	1,856 A	1,691 A		2,715 A	2,670 A	
	CV (%)	30,58			8,35		
<i>C. vernalis</i>	Química	1,355	1,330	1,342 a	2,912	2,825	2,862 a
	Orgânica	1,060	1,290	1,175 a	2,850	2,850	2,850 a
	Sem adubação	1,005	0,935	0,970 a	2,897	2,882	2,890 a
	Média	1,140 A	1,185 A		2,887 A	2,848 A	
	CV (%)	45,75			2,65		
<i>E. involucrata</i>	Química	1,902	1,840	1,871 a	2,462	2,488	2,475 a
	Orgânica	1,840	1,742	1,791 a	2,505	2,518	2,511 a
	Sem adubação	1,722	1,773	1,748 a	2,512	2,562	2,538 a
	Média	1,822 A	1,785 A		2,493 A	2,522 A	
	CV (%)	28,32			7,54		
<i>I. vera</i>	Química	1,822	1,972	1,898 a	1,525	1,552	1,539 a
	Orgânica	1,345	1,470	1,408 a	1,940	1,672	1,806 a
	Sem adubação	1,788	1,488	1,638 a	1,910	1,568	1,739 a
	Média	1,651 A	1,643 A		1,792 A	1,598 A	
	CV (%)	30,10			23,47		
<i>P. rigida</i>	Química	1,842	2,040	1,941 a	1,517	1,868	1,692 a
	Orgânica	1,848	1,832	1,840 a	1,877	2,000	1,939 a
	Sem adubação	1,862	1,968	1,915 a	2,055	2,038	2,046 a
	Média	1,851 A	1,947 A		1,817 A	1,968 A	
	CV (%)	15,56			16,62		
<i>S. terebinthifolius</i>	Química	2,980	2,768	2,874 a	1,210	1,108	1,159 a
	Orgânica	2,278	2,220	2,249 a	1,260	1,360	1,310 a
	Sem adubação	1,938	1,782	1,860 a	1,515	1,538	1,526 a
	Média	2,398 A	2,257 A		1,328 A	1,335 A	
	CV (%)	41,22			32,80		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula (linha) para cada fonte de variação e minúsculas (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2017).