

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

**PRODUÇÃO DE MUDAS E CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE  
*Cordia trichotoma* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
IRRIGAÇÃO, POLÍMERO HIDRORETENTOR, SOMBREAMENTO E  
UMIDADE DO SOLO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Mônica Brucker Kelling**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**



**PRODUÇÃO DE MUDAS E CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE  
*Cordia trichotoma* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
IRRIGAÇÃO, POLÍMERO HIDRORETENTOR, SOMBREAMENTO E  
UMIDADE DO SOLO**

**Mônica Brucker Kelling**

Tese a ser apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em  
Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Engenharia Florestal.**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maristela Machado Araujo**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

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

Kelling, Mônica Brucker

Produção de mudas e crescimento inicial a campo de *Cordia trichotoma* submetidas a diferentes condições de irrigação, polímero hidroretentor, sombreamento e umidade do solo / Mônica Brucker Kelling.-2015.

191 p.; 30cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015

1. Louro-pardo 2. Manejo hídrico 3. Hidrogel 4. Crescimento a campo 5. Parâmetros morfológicos e fisiológicos I. Araujo, Maristela Machado II. Título.

---

©2015

Todos os direitos autorais reservados a Mônica Brucker Kelling. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço eletrônico: [mbk@politecnico.ufsm.br](mailto:mbk@politecnico.ufsm.br)

**Mônica Brucker Kelling**

**PRODUÇÃO DE MUDAS E CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE *Cordia trichotoma* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO, POLÍMERO HIDRORETENTOR, SOMBREAMENTO E UMIDADE DO SOLO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 18 de dezembro de 2015:**

---

**Maristela Machado Araujo, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Diniz Fronza, Dr. (UFSM)**

---

**Gilvano Ebling Brondani, Dr. (UFLA)**

---

**Juçara Terezinha Paranhos, Dra. (UFSM)**

---

**Maria Helena Fermino, Dra. (FEPAGRO)**

Santa Maria, RS  
2015



## **DEDICO**

Aos meus pais, Franz Xaver Brucker e Eva de Sá Brucker, que com grande esforço e dedicação me deram muito mais do que a vida.

Ao meu marido, Cláudio Renato Schlessner Kelling, pelo apoio, compreensão e presença em todos os momentos.

Aos meus filhos amados, Matheus e Marina,  
pelo incentivo e carinho.

E a todos que me acompanharam  
ao longo desta caminhada.





## AGRADECIMENTOS

À energia criadora do universo, que rege com equilíbrio tudo nesta vida.

Aos meus pais Franz e Eva.

Ao meu marido Cláudio e meus filhos Matheus e Marina, pelo apoio, carinho, compreensão e amor.

À professora e orientadora Dr<sup>a</sup>. Maristela Machado Araujo, por toda a ajuda, compreensão, orientação e dedicação a mim dispensada.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelos anos de estudo e de trabalho junto ao Colégio Politécnico e pela oportunidade de realização do doutorado; bem como ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

Aos Professores da banca de qualificação e defesa pela participação. Agradeço pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições.

Aos colegas funcionários Seu Élio, pelo auxílio imprescindível, apoio e otimismo e ao Gervásio, pela cooperação em todos os momentos necessitados. Ao funcionário Seu João, pelo auxílio nas atividades de campo.

Às colegas e amigas do Viveiro Florestal, Suelen, Daniele Gomes e Thaise, pela colaboração e amizade em todos os momentos desta trajetória.

Aos colegas do Viveiro Florestal: Daniele Rorato, Rafael, Álvaro, Patrícia, Jessé, Felipe Turchetto e Thairini, assim como todo o pessoal de apoio: Bruno, Camila, Cláudia, Felipe M. Barbosa, Jairo, Matheus, Edinara, Priscila, por todo o apoio, amizade e colaboração.

Aos professores, colegas e amigos do Colégio Politécnico da UFSM.

E, agradeço mais uma vez à minha família, razão da minha existência, pela presença e apoio em todos os momentos.



“Tudo aquilo que o homem ignora não existe para ele. Por isso o universo de cada um se resume ao tamanho do seu saber.”

---

*Albert Einstein*



## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **PRODUÇÃO DE MUDAS E CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE *Cordia trichotoma* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO, POLÍMERO HIDRORETENTOR, SOMBREAMENTO E UMIDADE DO SOLO**

AUTORA: MÔNICA BRUCKER KELLING  
ORIENTADORA: MARISTELA MACHADO ARAUJO  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de dezembro de 2015.

A espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. da família Boraginaceae é considerada uma das arbóreas nativas madeireiras prioritárias para plantios florestais na região sul do Brasil, além de ter importância na recuperação ambiental de áreas alteradas. No entanto, apesar da importância desta espécie, não existe na literatura estudos com relação à irrigação e utilização de polímeros hidroretentores na produção de mudas, assim como a influência de níveis de sombreamento e do excesso de umidade do solo no crescimento inicial a campo, com base em variáveis morfofisiológicas. O presente trabalho foi dividido em três capítulos, no Capítulo I objetivou-se definir, com base em variáveis morfofisiológicas, qual lâmina de irrigação é indicada, combinada ou não com doses de polímero hidroretentor adicionadas ao substrato, na produção de mudas de *C. trichotoma*, visando à redução no consumo de água. As variáveis fisiológicas da fluorescência da clorofila *a* demonstraram ser importantes para estudos do comportamento do crescimento de mudas em viveiros. Um crescimento adequado das mudas em viveiro foi obtido, com lâminas de irrigação de 4-8-8 mm dia<sup>-1</sup>, alternadas a cada 60 dias, sendo possível a utilização de uma menor lâmina no início do crescimento, dessa forma reduzindo o consumo de água. A utilização da lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> contínua na produção de mudas é possível, desde que associada com a adição da dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor ao substrato. No Capítulo II foi avaliado o crescimento inicial a campo de mudas de *C. trichotoma*, sob diferentes níveis de sombreamento, considerando variáveis morfológicas e fisiológicas. A parte aérea das plantas teve o crescimento influenciado negativamente na condição de pleno sol. A espécie responde com muita plasticidade às diferentes intensidades luminosas. Porém, os sombreamentos de 18 e 50% proporcionam maior crescimento e valores fisiológicos favoráveis ao desenvolvimento inicial da espécie. Identificar o efeito do excesso de umidade do solo na sobrevivência e no crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma*, após plantio a campo, com base em características morfofisiológicas foi o objetivo do Capítulo III. O maior teor de microporos e de argila em camadas sucessivas do solo (0 a 20 cm) é indicativo da condição indesejável para a sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma*. A espécie é intolerante a ambientes com excesso de umidade no solo, não sendo recomendado o plantio em locais planos, com problemas de drenagem.

**Palavras-chave:** Louro-pardo. Manejo hídrico. Hidrogel. Crescimento a campo. Parâmetros morfológicos e fisiológicos.



## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Post-Graduation Course in Forest Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **SEEDLING PRODUCTION AND INITIAL GROWTH *Cordia trichotoma* FIELD UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF IRRIGATION, WATER RETAINING POLYMERS, SHADOWING AND SOIL MOISTURE**

AUTHOR: MÔNICA BRUCKER KELLING  
ADVISOR: MARISTELA MACHADO ARAUJO  
Date and Place of Defense: Santa Maria, December 18<sup>th</sup>, 2015.

*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. species of the Boraginaceae family is considered a priority for logging native tree plantations in southern Brazil, in addition to have an important role in environmental restoration of degraded areas. However, despite the importance of this species, there are no published reports regarding irrigation and use of water retaining polymers in the production of seedlings, as well as the influence of shading levels and excess soil moisture in early growth in the field, based on morphological and physiological variables. This study was divided into three chapters: Chapter I aimed to define, based on morphological and physiological variables which irrigation blade is indicated, whether or not combined with water retaining polymer doses added to the substrate, in the production of *C. trichotoma* seedlings, aiming to reduce water consumption. The physiological variables of chlorophyll *a* fluorescence showed themselves important for behavioral studies of seedlings growth in nurseries. A suitable growth of seedlings in the nursery was obtained with irrigation blades of 4-8-8 mm day<sup>-1</sup>, alternating it every 60 days, with the possible use of a smaller blade at the start of growth, thereby reducing the consumption of water. The use of a continuous 4 mm day<sup>-1</sup> blade in the production of seedlings is possible, since associated with a dose of 3 g L<sup>-1</sup> water retaining polymer to the substrate. In Chapter II we evaluated the initial growth for *C. trichotoma* seedlings in the field under different levels of shading, considering morphological and physiological variables. The aerial part of the plant had the growth negatively influenced in full sun condition. The species responds with great plasticity to different light intensities. However, the shading of 18 and 50% provides favorable growth and physiological values for the early development of the species. The purpose of Chapter III was to identify the effect of excess soil moisture on survival and early growth of *C. trichotoma* seedlings after field planting, based on morphological and physiological characteristics. The higher content of micropores and clay in successive soil layers (0 to 20 cm) is indicative of the undesirable condition for the survival and early growth of seedlings of *C. trichotoma*. The species is intolerant to environments with excess soil moisture and the planting is not recommended in plain fields, with drainage problems.

**Keywords:** *Cordia trichotoma*. Water management. Hydrogel. Growth. Morphological and physiological parameters.





## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Crescimento em altura de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS..... 79
- Figura 2 – Relação altura/diâmetro do coleto de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS. .... 80
- Figura 3 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS. .... 81
- Figura 4 – Massa seca total (MST) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS..... 81
- Figura 5 – Fluorescência inicial da clorofila *a* (*F0*) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS..... 83
- Figura 6 – Crescimento em altura das mudas de *C. trichotoma* submetidas a diferentes níveis de sombreamento (0, 18, 50 e 70%), nos períodos de avaliação do plantio a campo, Santa Maria, RS. .... 107
- Figura 7 – Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *C. trichotoma*, nos períodos de avaliação do plantio a campo, Santa Maria, RS. .... 109
- Figura 8 – Diagrama de ordenação produzido pela Análise de Correspondência Canônica (CCA) para os dois primeiros eixos, entre os blocos analisados com as variáveis físicas do solo, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS. Em que: Axés: eixos; Argil20 = teor de argila na camada de 0,0 a 0,20 m; Micr20 = microporosidade na camada de 0,0 a 0,20 m..... 147



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultados obtidos em experimentos com diferentes dosagens de polímero hidroretentor no substrato, adubações e lâminas de irrigação para as variáveis morfológicas altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), sobrevivência, massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e número de folhas (NF), em viveiro. .... 52
- Tabela 2 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (Pp) e radiação (Rad) registradas no Município de Santa Maria, RS. .... 70
- Tabela 3 – Lâmina de água, frequência diária, quantidade (mm), horários e tempo de irrigação utilizados na produção de mudas de *C. trichotoma*, Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), Santa Maria, RS. .... 75
- Tabela 4 – Relação dos tratamentos (T) considerando combinações de lâminas de irrigação (I: 4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>) e doses de polímero hidroretentor (D: 0; 1,5; 3,0 e 4,5 g L<sup>-1</sup>) em diferentes fases de desenvolvimento (0 a 60, 61 a 120, 121 a 180 dias após aplicação dos tratamentos), na produção de mudas de *C. trichotoma*, Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), Santa Maria, RS. .... 76
- Tabela 5 – Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma*, em função de lâminas de irrigação, aos 180 dias, Santa Maria, RS. .... 82
- Tabela 6 – Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) de mudas de *C. trichotoma* em função das diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias, Santa Maria, RS. .... 84
- Tabela 7 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (pp) e radiação (Rad) registrados no Município de Santa Maria, RS. .... 97
- Tabela 8 – Médias de altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e relação altura da planta/diâmetro do coleto (AP/DC) de mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. .... 106
- Tabela 9 – Diâmetro da copa (DCOPA), área horizontal da copa (AHC), número de ramos (NR), comprimento médio dos ramos (CMR), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. .... 112
- Tabela 10 – Massa seca foliar (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR) e massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. .... 115

Tabela 11 – Volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) das amostras de solo e raízes obtidas na área de plantio de mudas de <i>C. trichotoma</i> em função dos níveis de sombreamento, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS.....	118
Tabela 12 – Volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) de <i>C. trichotoma</i> em diferentes níveis de sombreamento no total das amostras (0 a 30 cm de profundidade), aos 180 dias após plantio, Santa Maria, RS.....	120
Tabela 13 – Teor de clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> ), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i> ), clorofila total (Chl total), relação clorofila <i>a</i> /clorofila <i>b</i> (Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i> ) e carotenoides em mudas de <i>C. trichotoma</i> em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.....	122
Tabela 14 – Fluorescência inicial da clorofila <i>a</i> ( <i>F0</i> ) e rendimento quântico máximo do fotossistema II ( <i>Fv/Fm</i> ) de mudas de <i>C. trichotoma</i> em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.....	126
Tabela 15 – Taxa de transporte de elétrons ( <i>ETR</i> ) de mudas de <i>C. trichotoma</i> em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.....	128
Tabela 16 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (Pp) e radiação (Rad) registrados no Município de Santa Maria, RS.....	135
Tabela 17 – Distribuição das partículas por tamanho e classificação textural do solo do local do experimento, Santa Maria, RS.....	140
Tabela 18 – Densidade do solo (Ds), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), porosidade total (Pt) e umidade (U) do solo dos blocos de plantio das mudas de <i>C. trichotoma</i> , Santa Maria, RS.....	140
Tabela 19 – Número de mudas plantadas, replantadas após 20 dias do plantio e sobrevivência aos 180 dias, por bloco, no experimento a campo de <i>C. trichotoma</i> , Santa Maria, RS.....	143
Tabela 20 – Altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF), por bloco, das mudas de <i>C. trichotoma</i> aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.....	144
Tabela 21 – Fluorescência inicial da clorofila <i>a</i> ( <i>F0</i> ), rendimento quântico máximo do fotossistema II ( <i>Fv/Fm</i> ) e taxa de transporte de elétrons ( <i>ETR</i> ) de mudas de <i>C. trichotoma</i> em diferentes blocos, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.....	145
Tabela 22 – Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (CCA). Dados obtidos em um plantio de mudas de <i>C. trichotoma</i> , Santa Maria, RS.....	147

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1 – A - Secagem dos frutos de *Cordia trichotoma*, em bandejas plásticas, à temperatura ambiente; B - bandejas com os tubetes contendo substrato e sementes de *C. trichotoma*, dispostas sobre bancadas metálicas na casa de vegetação do viveiro; C – fase de germinação das mudas de *C. trichotoma* (imagem obtida 40 dias após o início da germinação); D - bandejas com mudas de *C. trichotoma* aos 120 dias após a semeadura; E - mudas de *C. trichotoma* um dia antes da instalação do experimento..... 177
- Apêndice 2 – A – B – Teste de Uniformidade para a determinação da irrigação, instalado na área experimental e em funcionamento; C - bandejas dispostas nos canteiros com diferentes lâminas de irrigação (imagem obtida 2 dias após a instalação do experimento); D – Experimento com 45 dias após a instalação; E - Canteiros com as mudas de *C. trichotoma* protegidas por sombrite; F – Canteiros com mudas de *C. trichotoma* cobertos com lonas plásticas; G – Canteiros com mudas de *C. trichotoma* sendo irrigados em dia de precipitação. .... 178
- Apêndice 3 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para as variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC das mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor e diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS..... 179
- Apêndice 4 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência das doses do polímero hidrorretentor e lâminas de irrigação no crescimento de mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS..... 179
- Apêndice 5 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para fluorescência inicial ( $F_0$ ), rendimento quântico máximo ( $F_v/F_m$ ) e taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) das mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor e diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS. .... 180
- Apêndice 6 – Atributos do solo no qual foi feito o plantio a campo de mudas de *C. trichotoma* sob diferentes intensidades de sombreamento, Santa Maria, RS. 180
- Apêndice 7 – Obtenção das amostras de estrutura preservada de solo da área do experimento, A – vista do material e da extração da amostra; B - detalhe da extração da amostra; C – pesagem das amostras. .... 181
- Apêndice 8 – Densidade do solo (Ds), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), porosidade total (PT) e teor de umidade (U) do solo nos blocos do experimento a campo de mudas de *C. trichotoma* sob diferentes intensidades de sombreamento, Santa Maria, RS..... 182
- Apêndice 9 – Distribuição das partículas por tamanho e classificação textural do solo da área do experimento, Santa Maria, RS. .... 182
- Apêndice 10 – A - Abertura das covas para implantação das mudas de *C. trichotoma*, B – vista do plantio. .... 183

Apêndice 11 – A, B, C – Adubação das mudas de <i>C. trichotoma</i> . ....	183
Apêndice 12 – A e B – Obtenção das amostras de solo com raízes; C e D – tratamento das amostras para separação das raízes. ....	184
Apêndice 13 – Localização do plantio a campo de mudas de <i>C. trichotoma</i> . A - vista aérea de parte da área do Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), com a localização dos blocos, Santa Maria, RS. Fonte: Google Earth em 2014; B - localização no campo dos blocos do experimento de sombreamento, Santa Maria, RS. Fonte: Kelling, 2015; C e D – instalação das malhas de nylon nas parcelas; E – detalhe dos arcos de sustentação das malhas de nylon. ....	185
Apêndice 14 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência dos níveis de sombreamento no crescimento das mudas de <i>C. trichotoma</i> , aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. ....	186
Apêndice 15 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência dos níveis de sombreamento no crescimento das mudas de <i>C. trichotoma</i> , aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. ....	186
Apêndice 16 – Hábito de crescimento das plantas de <i>C. trichotoma</i> aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. A – tratamento a pleno sol (0% de sombreamento); B – 18% de sombreamento; C – 50% de sombreamento; D – 70% de sombreamento. ....	186
Apêndice 17 – Forma e dimensões apresentadas por folhas de plantas de <i>C. trichotoma</i> aos 180 dias após plantio no campo, submetidas ao sombreamento de 70%, Santa Maria, RS. ....	187
Apêndice 18 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para os parâmetros fisiológicos das mudas de <i>C. trichotoma</i> em diferentes níveis de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. ....	187
Apêndice 19 – Resultado da ordenação utilizando Análise de Correspondência Canônica, de um plantio de mudas de <i>C. trichotoma</i> , em Santa Maria, RS. ....	188

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>25</b>
<b>2 REVISÃO GERAL.....</b>	<b>29</b>
2.1 A espécie <i>Cordia trichotoma</i> (louro-pardo) .....	29
2.2 Produção de mudas .....	33
2.2.1 Uso do polímero hidroretentor .....	35
2.2.2 Irrigação de mudas.....	38
2.3 Plantios de espécies florestais arbóreas .....	41
2.4 Influência da água no crescimento das plantas.....	43
2.5 Influência do sombreamento no crescimento das plantas .....	46
2.6 Parâmetros para a análise do crescimento das mudas em nível de viveiro e de campo .....	49
2.6.1 Parâmetros morfológicos .....	50
2.6.2 Parâmetros fisiológicos.....	58
<b>3 CAPÍTULO I .....</b>	<b>65</b>
<b>EFEITO DE DOSES DE POLÍMERO HIDRORETENTOR E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE MUDAS DE <i>Cordia trichotoma</i> .....</b>	<b>65</b>
3.1 Resumo .....	65
3.2 Abstract.....	66
3.3 Introdução .....	67
3.4 Material e métodos .....	69
3.4.1 Caracterização geral da área de estudo.....	69
3.4.2 Coleta dos frutos, beneficiamento e produção das mudas.....	69
3.4.3 Teste de uniformidade da irrigação .....	72
3.4.4 Instalação do experimento de lâminas de irrigação.....	74
3.4.5 Tratamentos avaliados e delineamento experimental.....	75
3.4.6 Parâmetros analisados como indicadores de qualidade.....	76
3.4.7 Análise dos dados .....	78
3.5 Resultados.....	79
3.6 Discussão .....	84
3.7 Conclusões.....	92
<b>4 CAPÍTULO II.....</b>	<b>93</b>
<b>COMPORTAMENTO DE <i>Cordia trichotoma</i> EM DIFERENTES INTENSIDADES DE SOMBREAMENTO NA FASE INICIAL DE PLANTIO .....</b>	<b>93</b>

4.1	Resumo.....	93
4.2	Abstract .....	94
4.3	Introdução .....	95
4.4	Material e métodos.....	96
4.4.1	Caracterização geral da área de estudo .....	96
4.4.2	Produção de mudas .....	98
4.4.3	Delineamento experimental e tratamentos avaliados.....	98
4.4.4	Preparo da área, implantação das mudas e instalação do experimento.....	99
4.4.5	Sobrevivência e parâmetros morfológicos analisados .....	100
4.4.6	Parâmetros fisiológicos analisados .....	103
4.4.7	Procedimentos estatísticos .....	104
4.5	Resultados e discussão .....	105
4.5.1	Sobrevivência e variáveis morfológicas .....	105
4.5.2	Variáveis fisiológicas.....	121
4.5.2.1	Pigmentos fotossintéticos.....	121
4.5.2.2	Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	125
4.6	Conclusões .....	130
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>131</b>
	<b>UMIDADE DO SOLO NO CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE MUDAS DE</b>	
	<b><i>Cordia trichotoma</i>.....</b>	<b>131</b>
5.1	Resumo.....	131
5.2	Abstract .....	132
5.3	Introdução .....	133
5.4	Material e métodos.....	135
5.4.1	Caracterização geral da área de estudo .....	135
5.4.2	Produção de mudas, preparo da área e implantação das mudas.....	136
5.4.3	Sobrevivência e parâmetros morfofisiológicos analisados .....	137
5.4.4	Análise de Correspondência Canônica (CCA).....	138
5.5	Resultados e discussão .....	139
5.5.1	Atributos físicos do solo .....	139
5.5.2	Sobrevivência.....	143
5.5.3	Variáveis morfológicas .....	143
5.5.4	Variáveis fisiológicas.....	144
5.5.5	Análise de Correspondência Canônica (CCA).....	146
5.6	Conclusões .....	151



<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>153</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>175</b>



# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A região central do Rio Grande do Sul sofreu fortes pressões, reduzindo as suas florestas para aumentar a área produtiva, facilitar o acesso aos mananciais hídricos e, assim, efetuar a irrigação de culturas. As ações antrópicas trouxeram modificações expressivas à paisagem regional, muitas vezes em resposta ao “desenvolvimento” visto de uma única perspectiva, a econômica. Associado a esse fato, apesar dos inúmeros estudos fitossociológicos, caracterizando as florestas e indicando espécies promissoras para uso direto e indireto, ainda existe carência de estudos abordando aspectos silviculturais das espécies nativas, capazes de garantir mudas de qualidade no pós-plantio.

O cultivo de florestas tem seu êxito garantido quando são levados em consideração, entre outros aspectos, o conhecimento do ambiente original e atual da área foco de plantio, seleção de matrizes para coleta de material reprodutivo de elevada qualidade genética e produção de mudas vigorosas, capazes de refletir em adequado crescimento no campo. Em projetos de implantação de povoamentos florestais, em particular, a qualidade das mudas é de grande importância para o sucesso, influenciando no percentual de sobrevivência após o plantio e na frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém-implantado (CARNEIRO, 1995).

Assim, a utilização de mudas de qualidade, em associação com técnicas silviculturais apropriadas no plantio, permite ganhos na produtividade de espécies florestais arbóreas, uma vez que as árvores apresentam períodos relativamente longos para que atinjam a época adequada de corte (STURION, 2000).

Embora existam várias técnicas para a produção de mudas das espécies florestais comerciais, ainda há carência desse tipo de informação para as nativas, sendo necessário identificar quais técnicas são mais adequadas para cada espécie em particular. Portanto, é de fundamental importância definir protocolos e estratégias que favoreçam a produção de mudas de qualidade, reduzindo-se os custos de produção no viveiro, além de permitir seu bom desempenho em campo (BERNARDI et al., 2012) e, conseqüentemente, reduzir a necessidade de replantio, a frequência e intensidade dos tratos culturais a serem efetuados.

Na produção de mudas em tubetes a irrigação é um dos tratos culturais que requer mais atenção, sendo feita, preferencialmente, por meio de microaspersores e a falta ou excesso de água acarretam limitações no crescimento de mudas (DAVIDE; FARIA, 2008).

Na atualidade, a escassez de recursos hídricos tem aumentado consideravelmente, sendo cada vez mais necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de amenizar esse problema, inclusive no consumo de água na produção de mudas em viveiros florestais. Há cerca de duas décadas a qualidade de mudas tem aumentado devido à tecnologia aplicada. Um exemplo é o uso de polímeros hidroretentores, também conhecidos como hidrogel.

Os polímeros hidroretentores apresentam propriedades físico-químicas capazes de reter água em substratos utilizados na produção de mudas em tubetes, assim reduzindo a intensidade de irrigação (AZEVEDO; BERTONHA; GONÇALVES, 2002), porém há poucas investigações científicas divulgadas na literatura.

Além da irrigação, o efeito do sombreamento no desenvolvimento de mudas produzidas em viveiros já foi foco de diversos estudos. Porém, pesquisas em relação ao crescimento, sob diferentes níveis de sombreamento no campo, de espécies florestais potenciais para fins de plantios comerciais ou restauração de áreas são escassas, apesar de ser um fator essencial para se ter sucesso na implantação de povoamentos florestais.

A disponibilidade de luz constitui um dos fatores críticos para o desenvolvimento de espécies arbóreas potenciais para programas de revegetação, pois o estudo da luminosidade e sua relação com a fotossíntese constituem avaliações fundamentais. Além deste aspecto, as condições de umidade do solo da área de plantio também influenciam diretamente no crescimento de mudas a campo.

Estudos enfocando a produção de mudas e condução de plantios de espécies florestais nativas, de valor econômico e ambiental, são estratégicos para o desenvolvimento florestal regional e, conseqüentemente, nacional.

A espécie *Cordia trichotoma* (Boraginaceae) é considerada uma arbórea madeireira promissora, com valor econômico comprovado, madeira valiosa, desempenho silvicultural aceitável e aptidão para programas de regeneração artificial, observando-se suas exigências ecológicas (CARVALHO, 2000), de rápido crescimento e apresentando madeira de fácil trabalhabilidade (REITZ; KLEIN; REIS, 1988).

A madeira de louro-pardo (*C. trichotoma*) é considerada uma das mais caras do mercado, caso seja, ainda, encontrada, pois a espécie, como madeira de valor no Sul do Brasil, foi quase totalmente dizimada pelo corte indiscriminado (BACKES; IRGANG, 2002). Apesar da importância desta espécie, não existe na literatura estudos com relação à utilização de polímeros hidroretentores na produção de mudas, assim como a influência de níveis de sombreamento e do excesso de umidade do solo no crescimento inicial a campo, com base em variáveis morfofisiológicas.

Face ao exposto, constitui-se relevante aprofundar os conhecimentos relacionados à produção de mudas de espécies florestais nativas de qualidade, utilizando-se tecnologias atuais, como é o caso dos polímeros hidroretentores, que foram investigados na presente pesquisa com *Cordia trichotoma* e, também, ao crescimento de mudas no campo.

Desta forma, este trabalho visa avaliar os efeitos de lâminas de irrigação no crescimento de mudas de *Cordia trichotoma* produzidas com o emprego de diferentes doses de polímero hidroretentor adicionadas ao substrato e, também, o desenvolvimento inicial a campo da espécie em diferentes condições de sombreamento e umidade do solo. O primeiro capítulo teve como objetivo verificar, com base em variáveis morfofisiológicas, qual lâmina de irrigação é indicada, combinada ou não com doses de polímero hidroretentor adicionadas ao substrato, na produção de mudas de qualidade superior de *Cordia trichotoma*, visando à redução no consumo de água. No segundo capítulo, foi avaliado o crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma*, a campo, sob diferentes níveis de sombreamento, considerando variáveis morfológicas e fisiológicas. O terceiro capítulo visou identificar o efeito das condições de umidade do solo na sobrevivência e no crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma*, após plantio a campo, com base em características morfofisiológicas.



## 2 REVISÃO GERAL

### 2.1 A espécie *Cordia trichotoma* (louro-pardo)

A espécie arbórea nativa *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. conhecida popularmente por louro-pardo, pertence à família Boraginaceae, ocorrendo naturalmente desde o Nordeste até o Sul do Brasil, na parte oriental do Paraguai, no norte da Argentina e no sul da Bolívia (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; SOBRAL et al., 2006). Espécie de ampla ocorrência no Brasil, sendo encontrada em formações de Floresta Pluvial Atlântica, Semidecídua e no Cerrado (FREITAS et al., 2006). No Rio Grande do Sul, é frequente nas florestas do Alto Uruguai, nas matas abertas e nos capões dos campos do planalto e, sobretudo, nos capões dos campos da Depressão Central (REITZ; KLEIN; REIS, 1988). Coradin, Siminski e Reis (2011) citam o louro-pardo como sendo presente no estrato emergente da Floresta Estacional Semidecidual e da Floresta Estacional Decidual.

A espécie é uma árvore decidual que pode atingir, na fase adulta, de 25 a 35 m de altura (REITZ; KLEIN; REIS, 1988) e de 70 a 90 cm de diâmetro na altura do peito (LORENZI, 1992). O tronco é, geralmente, cilíndrico e reto; fuste de 10 a 15 m, casca cinza-claro, com sulcos longitudinais; ramificação racemosa ou monopodial quase horizontal com ramos finos e curtos, formando copa geralmente estreita e alongada, com folhagem densa (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; LONGHI, 1995).

De acordo com Carvalho (2003), a ramificação da espécie é monopodial na fase jovem e dicotômica, quando adulta, com copa de até 8 m de diâmetro. O sistema radicular é pivotante e profundo (LONGHI, 1995). As folhas são simples, ásperas, coriáceas, grandes, com 8 a 14 cm de comprimento (LORENZI, 1992), por 4 a 7 cm de largura, alternas, com bordos inteiros e uma nervura principal, sendo longamente pecioladas, apresentando coloração distinta na parte superior, que é verde-escura e na inferior, de cor grisácea (REITZ; KLEIN; REIS, 1988). Apresenta tricomas (SOBRAL et al. 2006) estrelados, em ambas as faces das folhas (VIEIRA et al., 2013; IPEF, 2014).

Segundo Freitas et al. (2006), a espécie *C. trichotoma* é extremamente variável, havendo indivíduos com folhas quase glabras e outros com folhas pilosas, estas com tonalidade fulva.

A inflorescência é cimosa paniculada (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; FELIPPI et al., 2012), terminal, com grupos de cerca de 100 pequenas flores (CARVALHO, 2003), perfumadas, polígamas, unissexuadas masculinas e hermafroditas (FREITAS et al., 2006; FELIPPI et al., 2012), vistosas, brancas no início e depois pardas, permanecendo presas na planta (FREITAS et al., 2006), fazendo com que a espécie seja uma das árvores mais conhecidas e inconfundíveis na floresta (REITZ; KLEIN; REIS, 1988). Segundo Carvalho (2003), principalmente as abelhas, bem como diversos insetos pequenos, são vetores de polinização da espécie.

Na região de ocorrência natural da espécie, a floração ocorre durante os meses de fevereiro a abril (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; LONGHI, 1995; FREITAS et al., 2006) e a maturação dos frutos de maio a julho (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; CARVALHO, 1994).

O fruto é simples, seco, indeiscente (FELIPPI et al., 2012), de formato subcilíndrico (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; FELIPPI et al., 2012), do tipo aquênio (FREITAS et al., 2006), de coloração marrom (FELIPPI et al., 2012), totalmente envolvido pelo tubo da corola e pelo cálice persistente (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; FREITAS et al., 2006; FELIPPI et al., 2012).

No aquênio as sementes ficam presas à parede dos frutos pela base do estigma, dispersando-se a longas distâncias, devido à corola marcescente. As sementes são cilíndricas, exalbuminosas e consideradas como recalcitrantes (FELIPPI et al., 2012). A unidade disseminadora é o perianto, incluindo o envoltório floral e a semente (CARVALHO, 2003). Segundo Carvalho (1994) e IPEF (2014) a dispersão das sementes é feita pelo vento (anemocoria) ou por gravidade (LONGHI, 1995).

Reitz, Klein e Reis (1988) recomendaram que a semeadura da espécie deve ser feita nos meses de setembro a outubro, podendo a planta alcançar ao redor de 1 m de altura no primeiro ano. A germinação é lenta, podendo levar de 32 a 112 dias, quando a semeadura for feita no inverno (CARVALHO, 2003). A germinação é epígea e normalmente varia entre 14 a 80%.

Felippi (2010) observou que a formação do 1º protófilo em teste de germinação realizado em casa de vegetação, com *Cordia trichotoma*, ocorreu entre o 23º e 30º dia após a germinação.

No aspecto ecológico de grupo sucessional trata-se de espécie secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999), com tendência à pioneira, ocorrendo de forma comum na vegetação secundária, no estágio de capoeira e capoeirões, sendo uma árvore longeva (CARVALHO, 1994). Lorenzi (1992) descreveu que a espécie é heliófita, característica de formações mais abertas e secundárias das florestas pluvial e semidecidual.



Carvalho (2003) destaca que *C. trichotoma* é exigente com relação ao tipo de solo, preferindo solos férteis, profundos, bem drenados, com textura franca a argilosa, devendo-se evitar solos hidromórficos rasos ou arenosos.

Segundo EMBRAPA (1988), a espécie quando jovem suporta sombra parcial, podendo ser plantada sob cobertura, onde encontra proteção contra o frio. Neste sistema, deve-se abrir o dossel da capoeira de forma gradual, à medida que as árvores crescem.

A árvore, quando jovem, suporta sombreamento leve, sendo medianamente tolerante ao frio, sofrendo, principalmente, com geadas tardias (CARVALHO, 2003), quando já se encontra com brotação de novas folhas (RADOMSKI et al., 2012).

O crescimento da espécie, no Brasil, é considerado, segundo Carvalho (2003), de lento a demorado, sendo estimada uma rotação inicial de até 15 anos, para desdobro, para diâmetro a altura do peito (DAP) de 45 cm. A adoção de técnicas eficientes de manejo pode incrementar as baixas taxas de crescimento observadas, decorrentes da competição natural limítrofe e da natureza da própria espécie, sendo que possui um bom potencial de crescimento, o que a torna viável para utilização em reflorestamentos com fins econômicos (SCHEEREN et al., 2002).

Com relação aos padrões e quantidade de variação genética, o controle genético e os possíveis ganhos esperados com a seleção dentro de progênies para caracteres de crescimento e forma de progênies de *C. trichotoma*, Freitas et al. (2006) concluíram que existe variação genética significativa entre progênies para os caracteres diâmetro do caule a altura do peito (DAP), forma e volume, havendo possibilidade de ganhos genéticos com a seleção para estes caracteres.

Radomski et al. (2012), pesquisando a utilização de *C. trichotoma* em sistemas agroflorestais, também verificaram uma grande variabilidade no crescimento em altura e em diâmetro dos indivíduos a campo, provavelmente tendo como causa a não utilização de controle genético sobre o material que deu origem às mudas utilizadas para o plantio.

Roman, Bressan e Durlo (2009), avaliando as características morfométricas e relações interdimensionais para *C. trichotoma*, em uma formação induzida, no município de Santa Maria, RS, em 45 indivíduos encontrados no local com DAP superior a 5,0 cm, concluíram que a grande amplitude de variação nas características morfométricas da espécie demanda a investigação da existência de relações destas variáveis, não apenas com as dimensões das árvores, mas, também, com características do sítio.

Mattos, Durlo e Lúcio (2003) analisando a possibilidade de ganho de fuste (ganho em comprimento da tora), para o angico (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), a canjerana

(*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.), o cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), a grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr.) e o louro-pardo (*Cordia trichotoma*) crescidos sem manejo, nas matas nativas de São João do Polêsine, RS, sob a hipótese de uma única intervenção de desrama observaram que o louro-pardo foi a espécie que apresentou a melhor capacidade comercial, detentora dos melhores percentuais médios de altura atual e potencial, 45,1 e 60,1% respectivamente, porém com o menor acréscimo de ganho de fuste (41,1%). Os autores constataram também que uma única desrama foi capaz de dobrar a altura do fuste da espécie *C. trichotoma*.

A espécie *C. trichotoma* é considerada uma das arbóreas nativas madeireiras prioritárias para plantios florestais da região sul do Brasil, principalmente por apresentar potencial para integrar estratégias de recuperação ambiental, possuir viabilidade econômica do seu cultivo ou manejo, ter crescimento volumétrico elevado, qualidade de madeira comprovada e multifuncionalidade de usos da madeira (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

Por ser uma espécie que apresenta a característica de não exercer concorrência com espécies cultivadas nem com campos naturais, pode ser utilizada em plantios consorciados com agricultura durante a primeira fase do crescimento e, após, com pastoreio controlado, bem como com outras espécies florestais nativas (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; LONGHI, 1995).

Outra característica interessante do louro-pardo é a sua capacidade de rebrotar vigorosamente da cepa e também de formar brotações de raízes superficiais (EMBRAPA, 1988; RADOMSKI et al., 2012).

No sistema agrossilvipastoril, o louro-pardo apresentou baixa ocorrência de ramos mortos nas porções mais baixas do fuste, em contraste ao que ocorre em plantios com alta densidade inicial do povoamento, nos quais os ramos mais baixos, ao serem sombreados pela copa acima e pelos concorrentes vizinhos, diminuem a produção fotossintética e fisiologicamente são desconectados do sistema de abastecimento de fotoassintatos de partes da copa superior, morrendo naturalmente em idades mais jovens (RADOMSKI et al., 2012).

Com relação à madeira, é de cor pardo-claro-amarelada, leve e durável (LONGHI, 1995), fácil de trabalhar (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; LORENZI, 1992; LONGHI, 1995) e flexível para ser envergada (LORENZI, 1992; LONGHI, 1995; CARVALHO, 2003). Segundo Carvalho (2003), a densidade da madeira varia de  $0,43 \text{ g cm}^{-3}$  a  $0,78 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo considerada leve a moderadamente densa.

A espécie é considerada uma das melhores madeiras de lei, sendo empregada para as mais variadas finalidades, incluindo móveis, revestimentos, construção civil (REITZ; KLEIN;

REIS, 1988; LORENZI, 1992) e esculturas (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; CARVALHO, 2003), apreciada nos mercados interno e externo (CARVALHO, 2003). O louro-pardo por apresentar qualidades como porte e copa ornamental, principalmente na fase de florescimento, pode ser utilizada para fins paisagísticos na arborização urbana (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011), sendo ótima para recuperação ambiental de áreas degradadas (LORENZI, 1992; CARVALHO, 2003), destacando-se por ser boa produtora de biomassa por meio da produção de denso folheto e ser melífera (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

Segundo Freitas et al. (2006) atualmente restam apenas algumas populações ou árvores isoladas de *C. trichotoma* em reduzidos fragmentos ou campos e pastagens, pois muitos locais de ocorrência natural da espécie foram convertidos ao longo do tempo em áreas de agricultura, silvicultura de espécies exóticas, áreas urbanas, entre outras.

Portanto, como o louro-pardo é considerado uma “árvore nobre”, devido à sua importância para o equilíbrio ecológico e aos benefícios que propicia, apesar de existirem pesquisas relacionadas à espécie nos mais variados ramos, necessita de estudos com relação à tecnologia de produção de mudas e crescimento inicial a campo.

## **2.2 Produção de mudas**

A qualidade das mudas, tanto morfológica quanto fisiológica, depende do genótipo e da procedência das sementes, das condições ambientais, dos métodos e das técnicas de produção (GOMES et al., 2002) e o padrão de qualidade das mudas por ocasião do plantio é o fator responsável pela sobrevivência, o estabelecimento e o crescimento inicial de um povoamento florestal. O potencial genético, as condições fitossanitárias e a conformação do sistema radicular das mudas também são importantes para uma boa produtividade dos plantios florestais (GOMES; PAIVA, 2011).

Silva e Angeli (2006) salientam que, ao implantar uma floresta, a primeira preocupação deve ser com a origem do material genético, considerando as sementes ou propágulos vegetativos que serão utilizados, pois a qualidade do material pode fazer a diferença entre o sucesso e o fracasso da floresta implantada. A produção de mudas de qualidade tem relação direta com a escolha das sementes, substratos, fertilizantes, recipientes, água e com o manejo a ser utilizado no viveiro (LOPES, 2004).

Segundo Gomes e Paiva (2011), o tipo de recipiente e suas dimensões exercem influências sobre a qualidade de mudas de espécies florestais. As dimensões e o conseqüente volume dos recipientes influenciam na disponibilidade de nutrientes e água, e um maior volume promove uma arquitetura do sistema radicular semelhante ao de mudas provenientes de semeadura direta a campo.

No entanto, segundo Wendling e Delgado (2008), com o aumento no volume do tubete, aumentam, também, os custos de produção das mudas, visto acarretar em maior utilização de substrato e outros insumos, bem como, maior área no viveiro.

De acordo com Malavasi e Malavasi (2006) o crescimento inicial em viveiro das mudas de *Cordia trichotoma* e *Jacaranda micrantha* Cham. em tubetes plásticos de seção circular e de diferentes capacidades de volume foi influenciado pela dimensão dos recipientes. Após 180 dias do plantio a campo, as mudas originárias de tubetes com três dos volumes testados (120, 180 e 300 cm<sup>3</sup>) apresentaram comportamento similar, contribuindo positivamente para o desenvolvimento das mudas, tanto em altura como em diâmetro. Portanto, para a produção de mudas de *C. trichotoma* e *Jacaranda micrantha* é possível a utilização de tubetes de 120 cm<sup>3</sup>, com economia de substrato, de espaço de viveiro e esforço no plantio.

De acordo com Gomes e Paiva (2011) as exigências nutricionais de muitas espécies florestais, principalmente no que diz respeito aos níveis críticos dos macronutrientes requerem estudos, sendo que os conhecimentos sobre as exigências das espécies florestais nativas são poucos.

Wendling e Dutra (2010) destacam que o substrato a ser utilizado na produção de mudas em recipientes deve apresentar características físico-químicas favoráveis, sendo que a espécie, tipo de produção, sistema de irrigação e disponibilidade dos componentes são fatores a serem considerados. Os substratos podem ser formados com mistura de vários componentes como a turfa, a casca de pinus, a casca de arroz carbonizada, a vermiculita, entre outros, além de aditivos, como adubos orgânicos ou inorgânicos (KÄMPF; TAKANE; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Silva e Angeli (2006) para garantir o crescimento e a qualidade superior das mudas, as doses de adubo, a época e os métodos de incorporação devem ser muito criteriosos, uma vez que a adubação é a principal forma de se retardar ou acelerar o seu crescimento no viveiro. A quantidade de nutrientes adicionada ao substrato, assim como a sua composição, é de grande relevância para o desenvolvimento inicial das mudas (LANA; LUCHESE; BRACCINI, 2010).

Wilsen Neto e Botrel (2009) utilizaram na produção de mudas de *Pinus taeda* L. fertilizante de liberação controlada (Osmocote<sup>®</sup>) na formulação NPK 19-06-10 que, devido à propriedade da membrana orgânica presente no entorno dos grânulos, à medida que ocorre a alteração da umidade no substrato a resina no entorno da membrana é dissolvida, liberando, gradativamente, os nutrientes presentes no fertilizante. Os autores constataram que, para a produção da espécie com bom padrão e qualidade, a melhor dose a ser utilizada do produto é 2,93 kg m<sup>-3</sup> de substrato, na qual todas as características de *P. taeda* L. avaliadas foram influenciadas positivamente, com exceção da massa seca das raízes.

Os fertilizantes de liberação controlada são amplamente utilizados com êxito na produção de mudas de espécies florestais, o que foi comprovado para as espécies *Schinus terebinthifolius* Raddi (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2009) e *Eucalyptus dunnii* (NAVROSKI et al., 2014).

### 2.2.1 Uso do polímero hidroretentor

O polímero agrícola hidroretentor, também conhecido como polímero hidratassolo, polímero hidroabsorvente ou hidrogel, além da elevada capacidade de reter e armazenar água quando incorporado ao solo, também retém nutrientes, que podem ser lentamente liberados para as plantas em função dos ciclos de absorção-liberação (BERNARDI et al., 2012). O produto é um pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, sendo que a capacidade de absorver e estocar água são as características mais valorizadas dos polímeros hidroretentores, os quais podem ser de origem natural, sendo derivados do amido, ou sintética, quando derivados de petróleo (TERRACOTTEM, 1998).

Segundo Kiritoshi e Ishihara (2004), os hidrogéis sintéticos apresentam excelentes propriedades mecânicas e hidrofílicas.

Azevedo, Bertonha e Gonçalves (2002) apontaram os efeitos benéficos do uso de polímeros hidroretentores na agricultura com relação à elevação da capacidade de retenção de água pelo substrato, contribuindo com a diminuição da frequência e quantidade total das irrigações, diminuição da mortalidade das mudas, aumento da produtividade em diferentes culturas e redução das perdas de nutrientes por lixiviação.

Na literatura não existem muitos estudos com relação à utilização de polímeros hidroretentores na produção florestal, sendo que a maioria dos relatos do uso destes produtos

é em relação a espécies agrícolas. Na área florestal, a principal justificativa da utilização é a minimização de problemas vinculados à deficiência hídrica pós-plantio em reflorestamentos (BUZETTO; BIZON; SEIXAS, 2002; SANTELICES, 2005; OLIVEIRA et al., 2008; THOMAS, 2008; AJALA, 2009; BOCZÓN; WRÓBEL; WIESŁAW, 2009; DRANSKI, 2010; BARBOSA; RODRIGUES; COUTO, 2013; DRANSKI et al., 2013; TEO; CORREA; DENARDIN, 2014), bem como alguns com o foco na recuperação de áreas degradadas (SARVAS; PAVLENDÁ; TAKÁCOV, 2007; VENTUROLI et al., 2013).

Sarvas, Pavlenda e Takácov (2007) salientam que a utilização do hidrogel no plantio a campo protege o sistema radicular das mudas contra a desidratação, quando as condições ambientais e a sazonalidade impõem restrições à implantação. O produto aplicado corretamente apresenta um custo relativamente baixo por muda, sendo que pode, ainda, ser adquirido em pequenas quantidades (BAGGIO et al., 2009).

O hidrogel apresenta grande potencialidade para o uso no transplante a campo de mudas de eucalipto, possibilitando a redução da frequência da irrigação, bem como proporcionando um retardamento do estresse hídrico nas plantas (NAVROSKI, 2013). Porém, observa-se divergência de respostas em diferentes estudos e regiões, como foi a situação observada por Venturoli et al. (2013), que avaliaram a relação entre o incremento de espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado e o porte inicial das mudas plantadas, em função de irrigação e aplicação de polímero hidroretentor nas covas de plantio, e concluíram que não existiu diferença no desenvolvimento das espécies em função da irrigação e do uso de polímero, em relação ao plantio convencional, nas condições apresentadas na região do Cerrado.

Estudos sobre a utilização de polímero hidroretentor incorporado no substrato na produção de mudas de espécies florestais exóticas vêm sendo verificados na literatura em pesquisas realizadas por Rodrigues (2007), Moreira et al. (2010), Maldonado-Benitez et al. (2011), Vervloet Filho (2011), Bernardi et al. (2012), Ramos (2012), Gomes (2013), Navroski (2013), Azevedo (2014) e Navroski et al. (2014, 2015), bem como de espécies nativas (GOMES, 2006; SOUSA et al., 2013; MEWS, 2014; MEWS et al., 2015) e têm apresentado resultados diversificados nas características de retenção e consumo de água, redução da necessidade de adubações e no crescimento das plantas.

A adição de hidrogel misturado ao substrato de produção de mudas de eucalipto, por estacas, em tubetes, aumentou a capacidade de retenção de água em, aproximadamente, 33% e a maior altura das plantas foi observada na combinação de 500 mg do hidrogel, com a lâmina de irrigação de 12 mm dia<sup>-1</sup> (RODRIGUES, 2007).

Navroski et al. (2015) concluíram que a partir do emprego de  $3 \text{ g L}^{-1}$  do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, é possível reduzir a irrigação, bem como alcançar melhorias das características físicas e químicas do substrato, principalmente àquelas relacionadas à retenção de água.

Lopes et al. (2010), trabalhando com híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos a diferentes manejos hídricos na fase de produção de mudas e plantio em vaso com e sem o uso de hidrogel, encontraram diferenças estatísticas, sendo que plantas adaptadas à falta de água (uma irrigação diária) demoraram mais tempo para apresentar sintomas de deficiência hídrica.

Vervloet Filho (2011) observou na produção de mudas de três clones de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), que a lâmina d'água utilizada poderia ser reduzida em 20% com a utilização da dose de  $1,00 \text{ kg m}^{-3}$  do hidroretentor adicionado no substrato, sem prejuízo à qualidade das mudas produzidas.

Com relação à redução da adubação, tanto de base quanto de cobertura, Bernardi et al. (2012) concluíram que o uso do polímero na produção de mudas de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson contribuiu para a redução da lixiviação dos nutrientes adicionados ao substrato e na adubação de cobertura, permitindo a redução em pelo menos 20% da adubação normalmente utilizada em viveiro comercial, podendo chegar a 40% esta redução.

De acordo com Navroski (2013), a utilização do polímero hidroretentor na produção de mudas de espécies florestais é economicamente viável quando se faz o uso de substratos mais porosos e de menor custo, como aqueles contendo a casca de arroz carbonizada. A adição do hidrogel possibilita a redução da adubação, contribuiu na diminuição da lixiviação do fertilizante de liberação controlada (osmocote<sup>®</sup>) e, principalmente, pode reduzir o consumo de água para irrigação.

Melhoria na qualidade das mudas de três clones de eucalipto foi obtida com a incorporação do polímero hidroretentor ao substrato, em estudo desenvolvido por Azevedo (2014), além de permitir a redução em 25% da lâmina diária de irrigação no viveiro.

Gomes (2006) concluiu que doses elevadas de polímero hidratassolo (2,0, 2,5, 3,0  $\text{g kg}^{-1}$  de substrato) proporcionaram redução no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth, principalmente na ausência do esterco bovino, utilizado na adubação das mudas.

Analisando o efeito da incorporação de diferentes doses do polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira (*Morus* sp.), Moreira et al. (2010) observaram que a

dose de 5 g L<sup>-1</sup> favoreceu o desenvolvimento das mudas após o enraizamento, provavelmente porque à medida que aumenta a concentração do polímero hidroretentor no substrato, ocorre maior retenção de água.

Sousa et al. (2013) constataram que são poucos os estudos com relação à utilização do polímero hidroretentor incorporado ao substrato na produção de mudas de espécies nativas, uma vez que cada uma delas apresenta exigências próprias de manejo, podendo, também, possuir comportamento diferenciado em relação ao uso do produto. Estes autores concluíram que, a utilização do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., apesar de não afetar o desenvolvimento da parte aérea, influenciou negativamente na qualidade das mudas em dosagens maiores (acima de 4 g do polímero por litro de substrato), não sendo indicado o uso do produto nas condições em que o estudo foi realizado.

### 2.2.2 Irrigação de mudas

Segundo Mantovani, Bernardo e Palaretti (2006), a irrigação objetiva fornecer água de forma a suprir as necessidades hídricas das culturas e a possibilitar o seu desenvolvimento. A irrigação das mudas é considerada uma atividade essencial à dinâmica do viveiro e merece uma atenção especial devido ao alto consumo de água. Silva (2003), ao estudar o manejo hídrico em mudas de *Eucalyptus* sp., salientou que a irrigação é praticada de forma empírica na maioria dos viveiros, sendo que apenas o exame visual das plantas determina o momento e a conduta de irrigação.

As necessidades de irrigação referem-se à quantidade de água e ao momento de sua aplicação, com o objetivo de compensar as reduções de umidade durante o desenvolvimento de uma determinada cultura, sendo expressas em milímetros nas diferentes fases de crescimento (DOORENBOS; PRUITT, 1997).

Um procedimento padrão quanto às necessidades e periodicidade de irrigação é dificultado, pois cada região geográfica possui características específicas e a própria necessidade hídrica de cada espécie pode variar (SCREMIN-DIAS et al., 2006).

De acordo com Wendling e Dutra (2010), a irrigação em excesso pode reduzir a aeração do substrato, lixiviar os nutrientes solúveis, favorecer a ocorrência de doenças, prejudicar o desenvolvimento das raízes e resultar em gasto excessivo de água. Porém,



segundo Doorenbos e Pruitt (1997), a adoção de uma pequena lâmina de água que não mantenha úmida a zona radicular da cultura, reduzirá o volume de solo no qual as plantas poderão extrair água e nutrientes, produzindo estresse hídrico. Um posterior aumento na lâmina de irrigação não poderá superar os efeitos prejudiciais provocados pela deficiência de irrigação sobre o crescimento da planta.

Portanto, a quantidade de água deve ser ajustada conforme as características de cada região, tipo de recipiente, tipo de substrato utilizado e período do ano em que as mudas serão produzidas (WENDLING; DUTRA, 2010).

Mudas produzidas em tubetes sofrem perdas de água constantes por razão da maior ventilação no entorno do recipiente, acarretando na necessidade de aumento na frequência e quantidade de irrigação nos dias mais quentes e com maior incidência de ventos. De acordo com Lopes, Guerrini e Saad (2007), o reduzido volume de substrato disponível para as mudas produzidas em tubetes acarreta na necessidade de aumento na frequência de irrigação.

Um fator determinante para se produzir mudas de qualidade é o conhecimento do manejo hídrico em viveiros de produção de mudas, tendo como hipótese que espécies diferentes entre si, em função da classificação ecológica, apresentam necessidades hídricas diferentes no processo de produção (DELGADO, 2012).

O sistema de irrigação por aspersão permite muitas possibilidades de adaptações, visando à melhoria na eficiência de irrigação, economia no uso da mão-de-obra e adequação às distintas situações de campo. O principal parâmetro que descreve a uniformidade de irrigação, sendo utilizado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água a ser aplicada por um sistema de irrigação é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

Segundo Wendling e Dutra (2010), na produção de mudas de eucalipto, durante a fase de crescimento é recomendada uma irrigação não superior a  $13 \text{ L m}^{-2}$  ao dia.

Lopes, Guerrini e Saad (2007) analisando qual a melhor lâmina de irrigação diária na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, concluíram que as lâminas de irrigação brutas de 12 e de 14  $\text{mm dia}^{-1}$  foram as que mais contribuíram para o desenvolvimento das mudas de ótima qualidade, aos 108 dias após a semeadura.

A frequência de irrigação indicada para *Pinus elliottii* Engelm. foi de quatro vezes por dia e para *Eucalyptus grandis* três, na quantidade de  $0,005 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , durante um período de rega de 5 min, ou seja,  $0,075 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e  $0,100 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, em um estudo desenvolvido por Freitag (2007), realizado com o objetivo de avaliar as influências do manejo da irrigação na produção de mudas destas espécies. A irrigação foi feita com o uso de

difusores e aplicada sobre duas bandejas compostas por 96 mudas em tubetes. Baixas frequências de irrigação geraram resultados deficitários quanto à qualidade e quantidade de mudas no experimento, durante a época de avaliação.

De acordo com Lopes (2008), estacas de mudas clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, mantidas em irrigação (sem estresse hídrico) apresentaram taxas maiores de transpiração, demonstrando comportamento não adaptado ao estresse hídrico provocado pela ausência de irrigação, corroborando com Lopes, Guerrini e Saad (2007), que observaram que, quanto maior a lâmina de água, no caso a de 16 mm, maior será a transpiração das mudas, independente do substrato utilizado.

Delgado (2012), analisando os efeitos do manejo hídrico (lâmina bruta e frequência de irrigação) no desenvolvimento e qualidade das mudas de *Inga vera* Willd., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) y. Lee Langenh. concluiu que o manejo hídrico influenciou na qualidade das mudas das três espécies estudadas, sendo que a partir da classificação ecológica de cada espécie, é necessário um manejo hídrico específico para se produzir mudas de boa qualidade.

O conhecimento da necessidade de irrigação de mudas de espécies arbóreas traz vantagem na produção de mudas de espécies nativas em viveiros, uma vez que espécies que apresentam consumo de água semelhante podem ser colocadas no mesmo setor de irrigação (THEBALDI, 2011), fato que vem a facilitar o planejamento da distribuição das diferentes espécies no viveiro.

Portanto, as diferenças na necessidade hídrica das espécies florestais podem ser verificadas, pois de acordo com as condições de cada experimento, as espécies a seguir apresentaram as seguintes necessidades diárias de irrigação: *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc., lâmina de 16 mm dia<sup>-1</sup> (DUTRA, 2012); *Schinus terebinthifolius* Raddi, lâmina de 10 mm dia<sup>-1</sup> (MORAIS et al., 2012); *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, de 7 mm dia<sup>-1</sup> e *Anadenanthera macrocarpa* Benth, de 9 mm dia<sup>-1</sup> (THEBALDI, 2011); *Inga vera* Willd e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., de 10 mm dia<sup>-1</sup> (DELGADO, 2012).

### 2.3 Plantios de espécies florestais arbóreas

No país existem extensas áreas degradadas e de Reserva Legal aptas à implantação de florestas e agroflorestas que devem ser, preferencialmente, recompostas e manejadas com espécies da flora brasileira (BRASIL, 2007). A silvicultura com espécies nativas e os sistemas agroflorestais apresentam-se como alternativas potencialmente viáveis para o uso da terra, com grande possibilidade de se transformarem em um importante segmento de geração de riquezas, com a agregação de valores ambientais.

Para que os plantios das espécies arbóreas nativas tornem-se técnica e economicamente viáveis, considera-se necessário o desenvolvimento de programas de melhoramento genético e o desenvolvimento de sistemas silviculturais, observando-se as exigências ecológicas de cada espécie (EMBRAPA, 1988).

As florestas exercem inúmeras funções, desde a proteção de infraestruturas, passando pela proteção de águas e encostas, produção de matéria-prima florestal, até os diversos tipos de consórcios agroflorestais. Considerando-se os atuais efeitos negativos do desequilíbrio ambiental e da escassez dos recursos naturais, as árvores representam importante função para a conservação da água e minimização do aquecimento global (BAGGIO et al., 2009).

A sobrevivência e o crescimento inicial a campo de espécies arbóreas são desempenhos possíveis de serem previstos por meio da observação das características morfológicas das mudas (RITCHIE et al., 2010). Além disso, é importante considerar que plantas com sistema radicular bem desenvolvido têm mais chances de sobrevivência no campo (CAMPO; UCHIDA, 2002).

Pesquisas enfocando a importância da utilização de estratégias para se obter elevação da qualidade de mudas e garantir o desempenho destas no campo estão presentes na literatura, como a desenvolvida por Gasparin (2012), que concluiu que a aplicação de fertilizante de liberação controlada (FLC) na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan em viveiro teve efeito positivo no crescimento da espécie, atingindo os padrões de qualidade para o plantio a campo aos 180 dias.

Segundo Renner et al. (2010), em plantios florestais tratos culturais simples, como realização de capinas e controle de formigas, contribuem significativamente no estabelecimento das mudas, melhorando seu vigor e reduzindo a mortalidade.

O plantio de mudas na primavera é recomendado, principalmente nas regiões mais frias, em função do início do período de chuvas e da aceleração do crescimento das plantas,

que podem alcançar porte suficiente para suportar geadas no inverno seguinte. Porém, devido às mudanças climáticas, esta relativa segurança não é tão confiável como no passado, uma vez que a irregularidade das chuvas e a intensidade da insolação nos períodos pós-plantio têm influenciado negativamente na sobrevivência das mudas. Os efeitos da insolação vêm crescendo em agressividade na medida em que é reduzida a camada de ozônio do planeta, enquanto que a distribuição e intensidade das precipitações sofrem grande influência do aquecimento global (BAGGIO et al., 2009).

Radomski et al. (2012) pesquisando sobre tamanho de covas (20x20x20 cm e 30x30x30 cm) e adubação (adubação orgânica - 5 L de esterco de gado e adubação mineral - 100 g de NPK, em duas formulações - 5-25-25 e 2-25-25) em plantio de *C. trichotoma*, salientam que a utilização de covas de 20x20x20 cm é o mais recomendado em áreas de latossolo vermelho-escuro e, no caso da adubação, ficou evidente o efeito positivo da combinação da adubação orgânica + a adubação química, que atingiu o maior crescimento em altura e em diâmetro das plantas aos cinco anos de idade. A forma e quantidade da adubação podem ficar a critério do agricultor, segundo os autores, em função da disponibilidade e custos desses insumos.

De acordo com Baggio et al. (2009), períodos de estiagem cada vez mais comuns e agressivos nos meses mais quentes, devido principalmente à potencialização da radiação solar, dificultam sobremaneira os plantios de mudas, mesmo estes sendo realizados com o solo úmido, com mudas adequadas e em período propício. Desta forma, medidas preventivas são necessárias para garantir o sucesso deste tipo de implantação, tais como a irrigação ou utilização de produtos que conservam a umidade no solo, como substâncias húmicas ou hidrogéis, além da manutenção de uma boa camada de cobertura morta nas coroas das mudas.

A influência do uso da capina e da adubação em plantio de *C. trichotoma* foi tema do estudo desenvolvido por Salvadori et al. (2013), no município de Japorã (MS), no período de setembro de 2008 a março de 2010. O bloco sem adubo e coroado apresentou maior percentual de sobrevivência, porém, menor incremento em altura, podendo exigir menos investimento financeiro neste método de plantio, sendo uma boa opção para regeneração de locais degradados e mata ciliar, onde a sobrevivência das mudas pode ser mais interessante que a velocidade de crescimento. Já os blocos com adubo e coroado, bloco com adubo e terra nua e bloco sem adubo e terra nua revelaram o mesmo padrão de sobrevivência, além de média de crescimento semelhante. No entanto, o custo financeiro da operação de coroamento e adição de adubo pode ser menor do que manter toda terra sem cobertura vegetal e livre de competição entre a cultura e outras plantas, além de sugerir ser ambientalmente mais adequado para evitar erosão, ciclagem de nutrientes, proteção e cobertura do solo.

EMBRAPA (1988) considera que a espécie apresenta crescimento rápido (incremento médio anual de até  $23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e boa forma, sendo que atingiu, em espaçamento de 3 m x 2 m, altura média de 9,06 m, diâmetro do tronco médio de 9,6 cm e sobrevivência de 99%, aos oito anos de idade, em Cascavel, sudoeste do Paraná, em Latossolo Roxo distrófico. Porém, segundo Carvalho (2002), o louro-pardo apresenta crescimento lento a moderado no Brasil, sendo que os melhores incrementos volumétricos registrados em plantios foram de  $10,70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  aos 5 anos e  $9,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , aos 10 anos. Para o IPEF (2014) a espécie apresenta um crescimento lento, sendo que os melhores incrementos volumétricos registrados em plantios foram de  $9,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  aos 5 anos de idade, sendo o espaçamento médio utilizado de 3m x 2 m e a porcentagem média de plantas vivas, de 78%.

De acordo com Radomski et al. (2012), em um sítio considerado de alta produtividade, com solo profundo, ausência de limitação de bases trocáveis e de toxidez por alumínio, a média do DAP para *C. trichotoma* foi de 8,0 cm, com uma altura média de 6,9 m, aos sete anos de idade.

## 2.4 Influência da água no crescimento das plantas

A água, direta ou indiretamente, está envolvida em quase todos os processos fisiológicos das plantas, desempenhando funções como: constituinte, solvente, reagente, manutenção de estruturas moleculares, manutenção da turgescência e regulação térmica dos tecidos da planta (MORENO-FONSECA, 2009).

A presença da água é imprescindível durante todo o desenvolvimento da planta, sendo necessária na manutenção da turgidez dos tecidos, no transporte de nutrientes e fotoassimilados, como substrato metabólico na fotossíntese, na disponibilização de nutrientes, dentre outros (FLOSS, 2006).

De acordo com Moreno-Fonseca (2009), o estresse por déficit hídrico nas plantas ocorre quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção de água pelas raízes, assim, diante do desafio de sobreviver ao déficit hídrico as plantas, desde o seu surgimento, tiveram que desenvolver estruturas e mecanismos de tolerância. Várias estratégias de aclimação em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo são apresentadas pelas plantas, as quais variam de acordo com a severidade e com a duração do déficit.

O déficit hídrico afeta, praticamente, qualquer aspecto do crescimento das plantas, inclusive a anatomia, a morfologia, a fisiologia e a bioquímica (BENINCASA; LEITE, 2002). A diminuição do crescimento celular reduz o tamanho da planta; a diminuição da área foliar, o fechamento estomático, e danos no aparelho fotossintético, reduzem a fotossíntese.

Conforme Taiz e Zeiger (2004), as principais linhas de defesa das plantas ao déficit hídrico são a inibição da expansão foliar, a expansão do sistema radicular, o fechamento estomático e a aceleração da senescência e abscisão das folhas. Além disso, a redução da área foliar é a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo, pois uma planta com área foliar menor transpira menos, conseguindo, assim, conservar a água, limitante no solo, por um período mais longo.

Com a inibição da expansão foliar há uma redução no consumo de carbono e energia na parte aérea, e uma proporção maior de fotoassimilados pode ser destinada ao sistema radicular, sustentando, assim, o crescimento das raízes. Como os ápices das raízes perdem a turgescência quando em contato com o solo seco, quando há diminuição da água nas camadas superiores do solo, ocorre uma perda de raízes superficiais e proliferação das raízes profundas em direção ao solo úmido, e esse aprofundamento das raízes no solo pode ser considerada a segunda linha de defesa das plantas ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Plantas submetidas ao estresse por déficit hídrico podem fechar os estômatos mesmo com presença de luz (TAIZ; ZEIGER, 2004), o que reduz a entrada de CO<sub>2</sub> e, assim, diminui a taxa fotossintética (FLOSS, 2006).

Santos e Carlesso (1998) também descreveram que, em situação de déficit hídrico severo, além da redução no crescimento foliar, a planta utiliza, para ajustar a sua área foliar, a aceleração da senescência e a abscisão foliar. Ao reduzir a área foliar, a planta reduz a área transpirante e, conseqüentemente, economiza água no solo, uma estratégia de sobrevivência importante em situações de prolongada restrição hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Lu e Zhang (1999) variações na disponibilidade hídrica geram menor eficiência do fotossistema II, ou seja, com a redução na disponibilidade de água menos ATP e NADPH são formados e, como conseqüência, menos CO<sub>2</sub> é fixado, portanto, o fotossistema II depende da água para a geração de energia química, necessária para a fixação de CO<sub>2</sub>.

O crescimento das plantas é influenciado diretamente pela fotossíntese, que é muito sensível à disponibilidade de água, sendo afetado negativamente tanto por conseqüência da falta de água, quanto pelo excesso (PALLARDY, 2008). Segundo Medri et al. (2011) ocorre redução no crescimento de plantas produzidas em substratos com excesso de umidade, pois o sistema radicular reduz a capacidade de realizar trocas gasosas e de absorver água e

nutrientes, como consequência da redução da transpiração da planta, o que afeta o seu metabolismo.

Para que o aparato fotossintético das plantas funcione de forma adequada é necessário que seja mantida a temperatura foliar, não excedendo a temperatura ambiental e, para que isto ocorra, grande quantidade de água é evaporada pelas plantas. Esta perda de água pelas folhas é regulada através da resistência à difusão na rota da transpiração realizada pelos poros estomáticos e pela resistência da camada limítrofe, que é influenciada por aspectos anatômicos e morfológicos da folha, como no caso dos tricomas presentes nas superfícies foliares, que podem servir como quebra-ventos microscópicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para que ocorra um desenvolvimento adequado das plantas, as condições físicas do solo necessitam ser favoráveis, pois determinam os fluxos de água, gases e calor no solo. A aeração, a temperatura e a resistência mecânica são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros (COLLARES et al., 2006).

O conteúdo de ar no solo, ou a chamada porosidade de aeração, é um parâmetro muito importante para caracterizar a capacidade de um solo trocar gases com a atmosfera. Desta forma, um solo com aeração deficiente, devido à estagnação de água, não fornece condições físicas adequadas para o crescimento vegetal (LIER, 2010).

Ambientes com excesso de umidade do solo causam efeitos no crescimento inicial de espécies vegetais. Estudos sobre as características adaptativas das plantas a estes ambientes são importantes, pois fornecem informações sobre espécies que poderão ser utilizadas na recomposição florestal de áreas ciliares degradadas (MEDRI et al., 1998).

O excesso de umidade no solo reduz os espaços ocupados pelo ar, o que diminui a disponibilidade de oxigênio, alterando os processos físicos, químicos e biológicos, afetando diretamente o crescimento das plantas (PALLARDY, 2008). Fato igualmente salientado por Fernández (2006) e Pryor, Davison e Close (2006), que o baixo teor de oxigênio nos tecidos, ou hipóxia, causado pelo excesso de umidade, interfere no desenvolvimento das diferentes partes da planta, em função da redução na produção de fotoassimilados, causada pela menor taxa fotossintética. Dennis et al. (2000) afirmam que, como o oxigênio é vital para o fornecimento de energia para as vias celulares, a ausência deste elemento afeta a atividade metabólica e a produção de energia das plantas.

Medri et al. (2011) salienta que a redução no crescimento da parte aérea de plantas submetidas ao estresse produzido pelo excesso de umidade, é provocado principalmente pela menor absorção de água causada por modificações na permeabilidade das membranas das células das raízes, levando a uma menor condutividade hidráulica nas raízes.

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas para verificar a reação de espécies arbóreas submetidas a solos com períodos de excesso de umidade, principalmente para elucidar alguns aspectos de tolerância ao alagamento, como a com plantas da espécie *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (KOLB et al., 1998), da espécie *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. (MEDRI et al., 1998), de *Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb (DAVANSO et al., 2002), de *Cecropia pachystachya* Trec. (BATISTA et al., 2008) e de *Aegiphila sellowiana* Cham. (MEDRI et al., 2012).

## 2.5 Influência do sombreamento no crescimento das plantas

A luz desempenha um papel relevante na regulação da produção primária, contribuindo de forma efetiva para o crescimento das plantas. A eficácia e a rapidez com que os padrões de alocação de biomassa e comportamento fisiológico são ajustados estão relacionadas com o sucesso na adaptação de uma espécie em diferentes condições de radiação (ALVARENGA et al., 1998; CAMPOS; UCHIDA, 2002). O maior crescimento das espécies está relacionado a sua plasticidade adaptativa às diferentes condições de radiação solar.

A interceptação de luz é um dos principais fatores que controlam a assimilação de carbono total e crescimento das árvores, sendo a forma apresentada pelas espécies arbóreas diretamente influenciada pela luminosidade. As relações alométricas apresentadas pelas espécies arbóreas têm consequências importantes na interação planta-ambiente, além de fornecer subsídios para o entendimento da estrutura e dinâmica de populações vegetais. Pressões ecológicas, relacionadas principalmente com a luminosidade, influenciam a arquitetura de indivíduos de espécies arbóreas, contribuindo com o sucesso de seu desenvolvimento na formação florestal, servindo inclusive como subsídios ao entendimento de como as espécies poderão ser utilizadas em projetos de recuperação ambiental (BATISTA, 2011).

Para que ocorra um maior acesso à luminosidade em um ambiente florestal, em que a luz é o recurso mais limitante, existe uma seleção para o crescimento rápido em altura, bem como para o crescimento da área foliar, dessa forma, maximizando a assimilação de luz e gerando uma variedade de arquiteturas de árvores possíveis. Árvores do dossel e emergentes são mais altas e tendem a terem, relativamente, caules mais delgados e copas estreitas (POORTER; BONGERS, 2006), como é o caso de *C. trichotoma*, que, segundo Coradin,



Siminski e Reis (2011), está presente no estrato emergente da Floresta Estacional Semidecidual e da Floresta Estacional Decidual.

De acordo com Poorter e Bongers (2006) e Batista (2011), espécies pertencentes ao estrato superior apresentam maior investimento no crescimento em altura, o que favorece o acesso dos indivíduos ao dossel, a fim de atingirem o seu tamanho reprodutivo.

O crescimento em altura representa um dos aspectos do crescimento geral de espécies arbóreas, sendo influenciado de forma acentuada pelas condições de luminosidade (POGGIANI; BRUNT; BARBOSA, 1992).

Assim, a tendência linear do crescimento em altura em resposta ao aumento na intensidade de sombreamento, apesar de ser muito frequente na fase juvenil de espécies florestais tropicais, varia de acordo com a capacidade de adaptação de cada espécie (ROSA et al., 2009).

Segundo Lima et al. (2010), para o desenvolvimento de técnicas de plantio e de manejo de mudas de espécies arbóreas, é importante o conhecimento das estratégias de adaptação destas plantas à disponibilidade de luz no seu ambiente de crescimento.

A luz é primordial para o crescimento das plantas, não só por fornecer energia para a fotossíntese, mas, também, por fornecer sinais que regulam seu desenvolvimento por meio de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades, qualidade espectral e estado de polarização (REGO; POSSAMAI, 2006).

Como a luz é considerada um dos principais fatores associados ao metabolismo clorofiliano, a adaptação das plantas a uma determinada condição de irradiância está, ainda, associada ao teor de clorofilas. As clorofilas se encontram em constantes processos de síntese e degradação (fotooxidação); sob radiações intensas, o processo degradativo ocorre de forma pronunciada, enquanto sob condições de sombreamento, as concentrações foliares de clorofilas tendem a aumentar (ALVARENGA et al., 1998).

A complexa variedade e graus de tolerância à baixa intensidade de luz permitem que muitas classificações e nomenclaturas sejam sugeridas pela literatura para descrever as espécies florestais quanto às suas exigências por luz, embora de um modo geral, três grandes grupos sucessionais possam ser reconhecidos. As pioneiras, que ocorrem normalmente em clareiras grandes, exigem elevados níveis de luz para seu desenvolvimento; as secundárias iniciais, que ocorrem em regiões de transição entre clareiras e sub-bosque ou em clareiras parcialmente preenchidas; e as espécies secundárias tardias ou clímax, que são adaptadas a se desenvolverem em condições de sombreamento, no sub-bosque florestal (GANDOLFI, 2000).

Muitos estudos corroboram que os diferentes grupos ou classes sucessionais apresentam performances diferenciadas quanto à germinação, crescimento, sobrevivência, entre outros, em ambientes com diferentes condições de sombreamento e/ou intensidade de luz. A distribuição local das espécies é fortemente influenciada pela disponibilidade de luz, sendo esse fator o que mais limita o seu desenvolvimento (VIDAL, 2008).

Jesus et al. (1987) estudando a influência do tipo de substrato, do tamanho de recipiente e do sombreamento no desenvolvimento de mudas de *Cordia trichotoma* em condições de viveiro, concluíram que os três fatores influenciaram no crescimento da espécie, sendo que recomendam a produção das mudas em substrato com matéria orgânica, em recipientes plásticos com dimensões de 16 x 28 cm e manter as mudas sombreadas com sombrite de 60%, o que proporcionou um maior crescimento em altura, resposta esta característica de espécie secundária, segundo os autores.

A influência do sombreamento no crescimento inicial de mudas em condições de viveiro foi tema de pesquisa para muitas espécies arbóreas, como *Clitoria fairchildiana* Roward e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (PORTELA; SILVA; PINÃ-RODRIGUES, 2001), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (ROSA et al., 2009), *Cryptocaria aschersoniana* Mez. (ALMEIDA et al., 2004), *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. (CARVALHO et al., 2006), *Genipa americana* L., *Cariniana legalis* (Martius) Kuntze e *Caesalpinia echinata* Lam. (LIMA et al., 2010), *Sclerolobium paniculatum* Vog. (FREITAS et al., 2012) e *Azadirachta indica* A. Juss (AZEVEDO et al., 2015), as quais apresentaram diferentes respostas em variáveis morfológicas, em função dos níveis de sombreamento a que foram submetidas.

Além de variáveis morfológicas afetadas por diferentes níveis de sombreamento, estudos incluindo parâmetros fisiológicos foram da mesma forma realizados em condições de viveiro, como para as espécies *Cupania vernalis* Cambess. (LIMA JUNIOR et al., 2005), *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (FRANCO; DILLENBURG, 2007), *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (LIMA; ZANELLA; CASTRO, 2010).

Felippi (2010) estudando o desenvolvimento inicial a campo em área sob condições de sub-bosque de mudas de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. detectou que, apesar de ter sido lento, o crescimento em altura foi o mais evidente. Observou, também, que mudas de canjerana apresentaram crescimento expressivamente maior do que as mudas de grápia no decorrer de 180 dias, sendo, assim, considerada uma

espécie com potencial para se desenvolver em ambientes sombreados, dada sua característica esciófila.

Estudos sobre o crescimento inicial a campo de espécies arbóreas submetidas a diferentes níveis de sombreamento foram desenvolvidos por Tonetto (2014), com mudas de *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos, que apresentaram adequado crescimento a pleno sol, não sendo recomendado o sombreamento de 50 e 70% para a espécie, bem como por Aimi (2014), com mudas de *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart., que não demonstraram um desenvolvimento ideal a pleno sol, sendo recomendado o plantio com 50% de sombreamento.

Portanto, com base nestas citações, percebe-se que é muito diversificada a resposta das espécies florestais relacionada aos diferentes níveis de sombreamento e, por ser um importante indicador da capacidade de adaptação das plantas a ambientes com variações de incidência de luz, estudos envolvendo espécies florestais nativas, submetidas a diferentes níveis de sombreamento, são imprescindíveis para o conhecimento das características específicas destas espécies com relação ao aspecto luminosidade.

## **2.6 Parâmetros para a análise do crescimento das mudas em nível de viveiro e de campo**

Muitas variáveis morfológicas e fisiológicas podem ser monitoradas a fim de acompanhar e avaliar a qualidade das mudas (HAASE, 2008).

Na determinação da qualidade das mudas de espécies florestais, os parâmetros utilizados baseiam-se nos aspectos fenotípicos, também denominados morfológicos, ou nos internos das mudas, denominados fisiológicos (GOMES et al., 2002).

Landis; Dumroese e Lopes (2010) salientam que os parâmetros morfológicos são mais facilmente avaliados e não mudam significativamente durante o período de avaliação das mudas no viveiro até o plantio das mesmas, já os fisiológicos não são facilmente observados e mudam frequentemente até o plantio das mudas, devendo ser medidos com equipamentos especiais ou analisados em laboratório.

### 2.6.1 Parâmetros morfológicos

A morfologia da planta, geralmente, é fácil de quantificar e representa a resposta fisiológica às condições ambientais e às práticas culturais do viveiro. O número de variáveis morfológicas possíveis de serem obtidas é alto e algumas delas são muito correlacionadas, portanto, deve-se eleger aquelas que contemplem mais informação e sejam de medição mais facilitada (BIRCHLER et al., 1998).

A altura e o diâmetro são as duas variáveis morfológicas comumente avaliadas, sendo bons indicadores da qualidade das mudas e do seu subsequente desempenho a campo (HAASE, 2008). Segundo Chaves e Paiva (2004), os parâmetros mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas de espécie arbóreas são a altura da planta (H), o diâmetro do coleto (DC), a massa seca total (MST), a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). Os autores também destacaram as razões H/DC, H/MSPA, MSPA/MSR e o índice de qualidade de Dickson (IQD), como complementares.

De acordo com Landis, Dumroese e Haase (2010), a altura e o diâmetro do colo das mudas são as características morfológicas mais comuns e são atributos facilmente avaliados. A capacidade de sobrevivência das mudas é melhor estimada pelo diâmetro do colo, enquanto que o crescimento tende a ser mais relacionado com a altura inicial das mudas.

Binotto, Lúcio e Lopes (2010) afirmam que, com relação às variáveis morfológicas, a altura da parte aérea pode ser considerada eficiente para indicar qualidade de mudas, quando analisada juntamente com o diâmetro de colo. Os mesmos autores colocam que o diâmetro do colo é o parâmetro morfológico mais propício para indicar a qualidade de mudas e que apresenta o maior grau de relação com o índice de qualidade de Dickson (IQD), sendo este índice considerado eficiente e recomendado por diversos autores.

Na determinação do IQD são considerados vários parâmetros morfológicos importantes como altura, diâmetro do colo, massa seca da parte aérea e radicular (FONSECA, 2000). Quanto maior for o valor determinado desta variável, melhor será a qualidade das mudas (GOMES et al., 2002).

As variáveis morfológicas mais relacionadas com o IQD são as fitomassas secas, seguidas do diâmetro de colo, enquanto o número de folhas, seguido pela altura da muda, são as que apresentam menor relação (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010).

De acordo com Navroski et al. (2014), o IQD pode ser considerado um bom parâmetro para indicar o padrão de qualidade das mudas crescidas sob diferentes dosagens de hidrogel,

pois apresenta semelhanças em relação aos parâmetros indicativos de qualidade (H, DC, MSPA, MSR e MST).

Já com relação à produção de matéria seca, ou seja, MSPA, MSR e MST, estas variáveis tem sido consideradas umas das melhores características para avaliar a qualidade das mudas, apesar de ter o inconveniente de serem obtidas por meio de métodos destrutivos (AZEVEDO, 2003), o que também é necessário para a obtenção do IQD.

Almeida et al. (2005) salienta que a relação MSPA/MSR é considerada como um índice seguro para expressar o padrão de qualidade de mudas e, de acordo com Gomes e Paiva (2011), o melhor valor para este índice seria de 2,0.

As variáveis morfológicas apresentadas pelas mudas de espécies florestais são influenciadas pelas técnicas de manejo e processo de produção dessas mudas. Com relação ao substrato deve-se considerar: componentes, pH e umidade (STURION; ANTUNES, 2000), além da possibilidade de incorporar polímeros hidroretentores.

Poucos são os estudos realizados com o objetivo de avaliar a influência da utilização de diferentes doses de polímero hidroretentor no substrato, no crescimento de mudas em viveiro, sendo que na Tabela 1 consta o resumo dos resultados dos parâmetros morfológicos obtidos de alguns desses estudos.

Gomes (2006) verificou que, na produção de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth, a dose de hidratassolo que melhor expressou o desenvolvimento, com o intervalo de irrigação de 8 dias, do diâmetro do caule (4,03 mm) foi a de 1,5 g kg<sup>-1</sup>. Quanto ao NF, o maior valor (36,15) foi obtido com a dose de 1,5 g kg<sup>-1</sup>, no intervalo de irrigação de 16 dias (Tabela 1).

Na presença do esterco bovino e sem polímero, com intervalo de irrigação de 2 dias foi observado o maior valor de MSF (4,5 g). Para a MSC, o maior valor (3,25 g) foi observado no intervalo de irrigação de 8 dias, com esterco e 3,0 g kg<sup>-1</sup> de polímero acrescidos ao substrato (GOMES, 2006).

Diferentes dosagens do polímero hidroretentor incorporadas ao substrato, na produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., não apresentaram efeito significativo para os parâmetros H, DC, relação H/DC e NF avaliados, segundo Sousa et al. (2013), o que indica que a sua utilização não afetou o desenvolvimento da parte aérea das mudas desta espécie (Tabela 1). Sem a utilização do polímero foi observada a maior sobrevivência das mudas (82,86%), enquanto a menor (35,24%) foi observada em mudas produzidas com 8 g L<sup>-1</sup> do polímero.

(Continua...)

Tabela 1 – Resultados obtidos em experimentos com diferentes dosagens de polímero hidroretentor no substrato, adubações e lâminas de irrigação para as variáveis morfológicas altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), sobrevivência, massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e número de folhas (NF), em viveiro.

Espécie	Tratamentos	Região/ Época/ Duração (dias)	Parâmetros morfológicos viveiro											Fonte	
			H (cm)	DC (mm)	H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD	Sobrevi- vência (%)	MSF (g)	MSC (g)	NF		
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	Doses do polímero (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 g kg <sup>-1</sup> ), 2 tipos de solo (espodossolo cárbico e latossolo vermelho amarelo), com e sem esterco bovino e com intervalos de irrigação de 2, 8 e 16 dias	Recife (PE)/ago. a out. 2005/ 90 dias	-	4,03*	-	-	-	-	-	-	-	4,5	3,15	36,15	GOMES, 2006
			-	3,17**	-	-	-	-	-	-	-	2,31	1,24	26,72	
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Doses do polímero hidroretentor (0; 2; 4; 6 e 8 g L <sup>-1</sup> de substrato), em tubetes	Brasília (DF) jul. a nov. de 2012/ 120 dias	10,70*	2,09	5,559	-	-	-	-	82,86	-	-	-	SOUSA et al., 2013	
			9,72**	1,78	5,069	-	-	-	35,24	-	-	-			
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Doses do polímero hidroabsorvente (0; 1; 2; 3; 4 g L <sup>-1</sup> de substrato) e adubação nitrogenada	Brasília (DF)/2013/ 160 dias	20,86*	3,11	7,96	2,66	5,73	7,61	1,34	-	-	-	17	MEWS, 2014	
			aprox. 7**	-	aprox. 4	aprox. 0,6	aprox. 0,5	aprox. 1,2	aprox. 0,2	-	-	-	aprox. 8		



(Conclusão)

Tabela 1 – Resultados obtidos em experimentos com diferentes dosagens de polímero hidroretentor no substrato, adubações e lâminas de irrigação para as variáveis morfológicas altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), sobrevivência, massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e número de folhas (NF), em viveiro.

Espécie	Tratamentos	Região/ Época/ Duração (dias)	Parâmetros morfológicos viveiro											Fonte	
			H (cm)	DC (mm)	H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD	Sobrevi- vência (%)	MSF (g)	MSC (g)	NF		
Clones híbridos de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	Doses de polímero hidroretentor (0; 0,33; 0,66; 1,0 kg m <sup>-3</sup> de substrato) e 100, 70 e 50% da lâmina de irrigação operacional	Aracruz (ES)/ab. a jul. 2011/ 90 dias	aprox. 35*	aprox. 3,3	-	-	-	-	-	-	+ de 90	-	-	-	RAMOS, 2012
			aprox. 22**	aprox. 2,2	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-	
Clones híbridos de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	Níveis de hidroretentor (0 e 0,5 kg m <sup>-3</sup> de substrato) e lâminas de irrigação (100; 75 e 50% da ET0)	Jerônimo Monteiro (ES)/out. a dez. 2012/ 95 dias	25*	3,06	-	1,8596	0,8280	-	-	-	88	-	-	-	GOMES, 2013
			22**	2,73	-	0,8125	0,2735	-	-	-	64	-	-	-	
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	Doses hidrogel (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g L <sup>-1</sup> ) e lâminas de irrigação (4; 8; 12; 16 e 20 mm dia <sup>-1</sup> )	Santa Maria (RS)/ago. a nov. 2012/ 90 dias	35,35*	3,45	11,80	2,17	0,6040	2,77	0,1925	-	-	-	-	-	NAVROSKI et al., 2015
			24,68**	2,25	9,29	1,32	0,3492	1,66	0,1225	-	-	-	-	-	
Clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	Doses hidrogel (0; 1; 2; 3 e 4 g L <sup>-1</sup> ) e lâminas de irrigação (6 mm, 9 mm e 12 mm)	Abadiânia (GO), jun. a set. 2013/ 95 dias	24*	2,3	11,5	1,0	0,5	1,5	0,13	-	-	-	11	AZEVEDO, 2014	
			18**	1,8	10	0,55	0,28	0,8	0,07	-	-	-	7		

\*Média do melhor tratamento; \*\*Média do tratamento inferior, aprox. = aproximadamente.



Mews (2014) avaliando a influência de doses do polímero hidroabsorvente e adubação nitrogenada no crescimento e na qualidade das mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos, *H. impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Myracrodruon urundeuva* Allemão, concluiu que, no geral, foram influenciados positivamente, quando comparados aos tratamentos testemunhas. Para *Handroanthus ochraceus* o maior crescimento em altura (20,86 cm) foi obtido com a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato de polímero hidroabsorvente e 4 g de ureia por litro de água (Tabela 1). Em relação ao diâmetro do coleto, a dose que resultou no maior valor médio (3,11 mm) foi de 2 g L<sup>-1</sup> de hidrogel associada a 5 g de adubação. Os maiores valores de MSR, MST e IQD foram obtidos com a dose de 1 g L<sup>-1</sup> de substrato de polímero hidroabsorvente e 2 g de ureia por litro de água. Para todos os níveis de hidrogel (0 a 4 g), a adubação de 3 g foi a aplicação que produziu mudas com maior número de folhas (17).

Maldonado-Benitez et al. (2011) verificaram na produção de mudas de *Pinus greggii* Engelm, que a dose de 4 g L<sup>-1</sup> de substrato de hidrogel e o substrato composto de 20% de casca de pinus e 80% de serragem apresentaram o maior valor em altura (21,82 cm), DC (3 mm) e MSPA (1,67 g), como pode ser observado na Tabela 1. Já a maior relação H/DC (3,83) foi observada com a mistura de 40% de casca de pinus e 60 % de serragem, com a dose de 4 g L<sup>-1</sup> de substrato de hidrogel e o parâmetro MSR apresentou o maior valor (0,86 g), com esta mesma mistura de substrato, porém sem a adição de hidrogel.

Efeito positivo no crescimento das mudas com a utilização de polímeros hidroretentores foi igualmente observado por Bernardi et al. (2012), em mudas de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson. Os maiores valores de altura (16,42 cm) e DC (2,29 mm) foram obtidos com o uso de hidrogel (6 g L<sup>-1</sup> de substrato) e 80% da adubação comercial (Tabela 1). Estes resultados levaram os autores a inferirem que o uso do polímero permite reduzir em pelo menos 20% a adubação de base e de cobertura, utilizadas pelo viveiro comercial.

Ramos (2012) observou que, para clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, a lâmina de irrigação com 30% de redução para todas as combinações do polímero hidroretentor testadas mostrou-se a mais adequada para as variáveis altura, diâmetro do coleto e sobrevivência (Tabela 1), podendo ser utilizada sem comprometimento da qualidade da muda.

Em outro estudo com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, Gomes (2013) observou que a média da H e do DC das plantas apresentaram uma pequena variação com a lâmina aplicada e o uso do hidroretentor, contudo não diferiram entre si (Tabela 1). A maior produção de MSPA (1,8596 g) e MSR (0,8280 g) foi obtida com o uso de

0,5 kg m<sup>-3</sup> de hidrotentor no substrato, demonstrando ser seu uso eficiente na melhoria da produção de biomassa das mudas.

Navroski et al. (2015) observaram que, para mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, a utilização do hidrogel apresentou melhoria das características físicas e químicas do substrato. Na ausência do hidrogel, maiores lâminas de irrigação (16 e 20 mm dia<sup>-1</sup>) resultaram no maior desenvolvimento das mudas. Com a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de hidrogel, foi obtida a maior altura e DC das mudas (Tabela 1), com a redução da irrigação (12 mm dia<sup>-1</sup>). Com relação aos parâmetros MSPA, MSR, MST e IQD os maiores valores (Tabela 1) foram atingidos com a dose de 6 g L<sup>-1</sup> de hidrogel e lâmina de irrigação de 12 mm dia<sup>-1</sup>, não diferindo estatisticamente dos resultados alcançados com a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de hidrogel e mesma lâmina de irrigação. Os menores resultados foram observados na ausência de hidrogel e na menor lâmina de irrigação (4 mm dia<sup>-1</sup>).

Azevedo (2014) verificou para dois dos três clones de *Eucalyptus* spp. analisados, que a dosagem de 2 g L<sup>-1</sup> de hidrogel proporcionou a obtenção de mudas de melhor qualidade e para o terceiro clone, a dosagem de 1 g L<sup>-1</sup> foi a recomendada, quando comparados os resultados encontrados para os parâmetros morfológicos (Tabela 1). O autor também concluiu que a incorporação do polímero hidrotentor permitiu a redução em 25% da lâmina diária de irrigação no viveiro, mostrando ser uma alternativa promissora para a produção de mudas clonais de eucalipto.

Considerando que alguns problemas podem ocorrer na implantação de florestas devido à utilização de mudas de baixa qualidade e com porte inadequado para plantio, devem ser observados alguns critérios para a produção e seleção das mudas. Conforme Gonçalves et al. (2005), para a expedição a campo as mudas produzidas em tubetes são consideradas de boa qualidade, quando apresentam aparente vigor, bom estado nutricional, folhas com coloração típica da espécie, altura entre 20 a 30 cm e diâmetro de coleto entre 5 a 10 mm.

Gomes et al. (2002), avaliando o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, concluíram que a altura e a relação altura/peso de matéria seca da parte aérea foram os parâmetros que apresentaram boa contribuição relativa ao padrão de qualidade das mudas.

Em um estudo que avaliou a melhor lâmina de irrigação diária na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em função do tipo de substrato utilizado, Lopes, Guerrini e Saad (2007) consideraram como parâmetros morfológicos das mudas a altura de parte aérea, diâmetro de colo, relação altura da parte aérea/diâmetro de colo, número de pares de folhas, matéria seca da parte aérea e das raízes e área foliar. Os autores concluíram que todas as

características morfológicas avaliadas foram influenciadas pelos substratos e pelas lâminas de irrigação aplicadas.

Dutra (2012) avaliou as variáveis altura, diâmetro e relação h/d no tempo, e as variáveis sobrevivência, produção de massa seca, área foliar e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), somente na última medição, identificando por meio desses parâmetros os efeitos das lâminas de irrigação na sobrevivência e crescimento de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. em diferentes formulações de substrato em viveiro.

Jung (2013) estudando o desenvolvimento inicial a campo de dois híbridos de eucalipto irrigados por gotejamento e microaspersão e sem irrigação, dos 7 aos 17 meses após o plantio considerou a altura de plantas, o diâmetro de caule, a área basal de caule, a relação entre altura e diâmetro de caule, o volume de caule por hectare e o incremento médio mensal das variáveis analisadas, como parâmetros morfológicos. Os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão propiciaram maior altura de plantas, diâmetro do caule, área basal do caule e volume de caule por hectare.

Segundo Carvalho et al. (2006) o grau de tolerância das espécies arbóreas em ambientes com diferentes intensidades luminosas pode ser verificado utilizando-se as características como a altura, a matéria seca, a relação raiz/parte aérea e o diâmetro do colo da planta. Além destas variáveis, Azevedo et al. (2015) também utilizaram a relação altura/diâmetro, a massa fresca e seca da parte aérea, raízes e total, o número de folhas e o IQD para verificar o efeito de níveis de sombreamento na produção de mudas de *Azadirachta indica* A. Juss.

Visando analisar aspectos com relação à influência do sombreamento no crescimento e arquitetura de copa das espécies arbóreas, pesquisas têm utilizado variáveis relacionadas com a interceptação de luz e suporte mecânico, como o diâmetro da copa (DCOPA), área horizontal da copa (AHC), número de ramos (NR), comprimento médio dos ramos (CMR), número de folhas (NF) e área foliar (AF) (POORTER; BONGERS, 2006; SOUZA et al., 2009; BATISTA, 2011).

A expansão da folha sob baixa luminosidade é relatada, frequentemente, indicando a maneira da planta de compensar, aproveitando melhor a baixa luminosidade. Assim, a determinação da área foliar é um parâmetro morfológico importante na determinação indireta de processos fisiológicos relativos ao crescimento e ao desenvolvimento, como intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar e outros (CAMPOS; UCHIDA, 2002).

Estudos sobre as características do sistema radicular e dos princípios da sustentabilidade nas florestas são de fundamental importância para o entendimento do equilíbrio ecológico desses ecossistemas. As informações da configuração do sistema radicular servem como subsídio para elucidar as interações fisiológicas básicas, sobretudo aquelas relacionadas com a nutrição e o balanço hídrico das árvores, fornecendo informações para a manutenção da capacidade produtiva desses sítios, o que é de extrema relevância no planejamento da atividade florestal (LOPES et al., 2010).

O principal fator envolvido na distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie, porém ele pode ser influenciado por outros fatores que estão atrelados ao solo, tais como: fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, efeito do pH, textura, temperatura e pelas circunstâncias nas quais a espécie se desenvolve, por exemplo, competição entre árvores (GONÇALVES; MELLO, 2005).

A maioria dos métodos de estudo do sistema radicular são muito trabalhosos e demorados, sendo que dentre as grandes dificuldades de se estimar a quantidade de raízes, incluem-se a variabilidade natural da distribuição das raízes, muito afetada pela variabilidade espacial do solo, dificuldades de definição dos procedimentos, além de outros aspectos (GONÇALVES; MELLO, 2005).

O método do trado é um dos métodos utilizados nos estudos do sistema radicular de plantas em condições de campo, sendo muito útil em determinações qualitativas e quantitativas de raízes finas, não sendo indicado para estudos sobre o sistema radicular de sustentação. O volume, o comprimento e o peso de raízes estão entre os parâmetros mais comumente utilizados para expressar o crescimento e a distribuição de raízes no perfil do solo, segundo Gonçalves e Mello (2005).

### 2.6.2 Parâmetros fisiológicos

Muitos parâmetros são utilizados para expressar o estado fisiológico das plantas, entre eles a fluorescência da clorofila, o teor de nutrientes minerais e reservas de carboidratos (HAASE, 2008; RITCHIE et al., 2010).

De acordo com Haase (2008), as variáveis morfológicas são mais frequentemente utilizadas do que as fisiológicas na avaliação da qualidade das mudas. Porém, segundo

Tonetto (2014), os parâmetros fisiológicos são indicadores apropriados à qualidade de mudas a campo, corroborando os resultados dos parâmetros morfológicos.

A fotossíntese, ou seja, “síntese usando a luz”, é responsável pela incorporação de carbono na planta, resultando na produção de biomassa vegetal. As plantas para produzirem biomassa possuem a capacidade de se adaptarem às condições ambientais, pois são fisiologicamente flexíveis, sendo que a resposta fotossintética das folhas varia em função da quantidade de luz e de gás carbônico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O potencial fotossintético das plantas é estimado pelos teores de clorofila e carotenoides nas folhas, pela sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa e ao crescimento e à adaptação a diversos ambientes (REGO; POSSAMAI, 2006).

De acordo com Majerowicz et al. (2003), os pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenoides) são moléculas lipossolúveis organizadas em complexos protéicos integrantes das membranas dos cloroplastos. As clorofilas *a* e *b* são os principais pigmentos que absorvem a radiação fotossinteticamente ativa.

Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e, conseqüentemente, ao crescimento e adaptabilidade a diversos ambientes é a clorofila, presente em todos os vegetais verdes. Não só a concentração total de clorofila, mas também a proporção dos pigmentos fotossintéticos mudam em função da intensidade luminosa. De uma maneira geral, a proporção entre clorofila *a* e *b* tende a diminuir com a redução da intensidade luminosa (ENGEL; POGGIANI, 1991).

Rego e Possamai (2006) compararam os teores de clorofilas e os parâmetros de crescimento de plantas jovens de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, submetidas a diferentes níveis de intensidade luminosa e concluíram que níveis de sombreamento elevados proporcionaram maiores teores de clorofila *a* e *b* e total.

Engel e Poggiani (1991) estudando a concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas verificaram que as espécies possuem a capacidade de alterar seus fotossistemas em termos de quantidade de pigmentos e de composição relativa de clorofila *a* e *b*. Essas alterações sofridas nas folhas proporcionaram uma maior eficiência de absorção de luz não só na faixa do vermelho, mas também de outras regiões do espectro.

De acordo com Torres Netto et al. (2005) e Gonçalves et al. (2012), reduções dos teores de pigmentos fotossintéticos são observados em espécies sob condições de saturação hídrica, possivelmente como consequência da redução da quantidade de oxigênio disponível para as plantas, o que ocasiona restrições no metabolismo.

A concentração de clorofila como parâmetro fisiológico na análise do crescimento de plantas foi utilizado para estudar a influência do sombreamento em mudas das espécies *Bauhinia forficata* Link. (ATROCH et al., 2001), *Croton urucurana* Baill. (ALVARENGA et al., 2003), *Cordia superba* Cham. (SOUZA et al., 2009), *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart (AIMI, 2014) e *Handroanthus heptaphyllus* (TONETTO, 2014), assim como a composição do substrato de produção de mudas, associada a ambientes com diferentes condições de sombreamento foi tema de pesquisa com mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (DUTRA; MASSAD; SANTANA, 2012) e de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (AFONSO et al., 2012), bem como em estudos sobre o efeito do excesso de umidade em plantas jovens de *Genipa spruceana* (GONÇALVES et al., 2012), de *Schizolobium parahyba* (COSTA et al., 2006) e de *Callophyllum brasiliense* Camb. (OLIVEIRA; JOLY, 2010).

A síntese de carboidratos é dirigida pela energia luminosa a partir de dióxido de carbono e água, com liberação de oxigênio, ou seja, através da conversão da energia luminosa em energia química, que ocorre em organelas denominadas de cloroplastos, dos quais fazem parte moléculas de clorofila. Os cloroplastos apresentam extenso sistema interno de membranas conhecidas como tilacóides, nos quais se localiza o aparato fotossintético, constituído pelo complexo antena e pelos centros de reação dos fotossistemas I e II (PRADO; CASALI, 2006), que operam em série para realizar as reações de armazenamento de energia da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As reações fotoquímicas que ocorrem nos centros de reação promovem o transporte de elétrons entre os dois fotossistemas, resultando na produção do NADPH e na formação acoplada do ATP e essas moléculas serão utilizadas na assimilação do carbono (PRADO; CASALI, 2006). De acordo com Larcher (2006), somente uma parte da energia radiante absorvida é aproveitada no processo fotoquímico, sendo o restante convertido em radiação fluorescente e calor, cuja determinação permite avaliar a adaptação à radiação e detecção das mudanças do aparato fotossintético durante o desenvolvimento da planta, ou durante a reação causada por algum tipo de estresse.

De acordo com Campostrini (2001), os pigmentos fotossintéticos, após receberem a energia dos fótons proveniente da luz, dissipam esta energia por três vias: dissipação fotoquímica (formação de moléculas de ATP), fluorescência (emissão de radiação na região do vermelho e vermelho distante) e dissipação não-fotoquímica (produção de calor na forma de radiação infravermelha). Este processo ocorre em função de que nem todos os elétrons que estão em um nível energético elevado são passados para os aceptores e retornam ao estado

inicial sem a produção de ATP e NADPH. Nesse retorno ao estado inicial, a energia é dissipada em forma de calor ou luz (fluorescência).

Segundo Araújo (2007), a capacidade de dissipar o excesso de energia por meio da fluorescência e calor é um dos mecanismos de defesa das plantas, para evitar os danos em função da irradiância em excesso. A eficiência de funcionamento do aparato fotossintético depende das vias dissipativas de energia, que são competitivas entre si (RIBEIRO, 2008).

Alterações na eficiência fotoquímica e dissipação de calor de plantas são refletidas por meio de mudanças na emissão de fluorescência, que é uma parte da energia luminosa absorvida pelas moléculas de clorofila, que não é utilizada em processos fotoquímicos, e nem dissipada como calor, sendo re-emitida em comprimento de onda longo (660 a 760 nm). Portanto, a análise da emissão de fluorescência da clorofila é um dos métodos de avaliação da fotossíntese, que considera as moléculas envolvidas nas diferentes etapas do processo (RIBEIRO, 2008).

A fluorescência da clorofila serve como um indicador das reações fotossintéticas, já que mudanças na sua magnitude podem ser usadas para o estudo dos processos fisiológicos, associados ao transporte de elétrons (PRADO; CASALI, 2006). Estudos com relação à fluorescência da clorofila permitem detectar danos resultantes de estresses ambientais em plantas (LANDIS; DUMROESE; HAASE, 2010).

De acordo com Campostrini (2001), a fluorescência pode ser monitorada com o uso de fluorímetros modulados (FLM), que utilizam uma fonte luminosa de excitação modulada (1 a 100 kHz), em conjunto com um sistema de detecção de fluorescência. Estes aparelhos permitem monitorar a fluorescência na presença de uma luz contínua de qualquer comprimento de onda, incluindo a luz solar.

No início da indução da curva de fluorescência a partir do pulso de saturação, após um tecido fotossintetizante ser mantido no escuro, são determinadas a fluorescência mínima ou inicial ( $F_0$ ), antes da aplicação do pulso e a fluorescência máxima ( $F_m$ ), no momento do pulso de saturação (RIBEIRO, 2008). O rendimento do fotossistema depois da adaptação ao escuro ( $F_v/F_m$ ) é calculado através da fórmula:  $F_m - F_0 / F_m$ , cujo valor representa a eficiência quântica potencial do fotossistema II (PRADO; CASALI, 2006; ARAÚJO, 2007) ou a capacidade que tem o fotossistema II de capturar a energia radiante e transferi-la para as reações fotoquímicas (formação de NADPH) (ARAÚJO, 2007).

Meyer e Genty (1999) salientam que a medida da fluorescência da clorofila com a utilização de fluorímetro modulado é uma importante ferramenta para o estudo do

funcionamento do maquinário fotossintético em resposta a vários estresses, incluindo o hídrico.

As medidas de fluorescência da clorofila *a* podem ser utilizadas como ferramentas para diagnosticar a integridade do aparato fotossintético frente às adversidades ambientais, tendo em vista que se trata de técnica rápida, precisa e não destrutiva (TORRES NETTO et al., 2005).

Segundo Panda et al. (2006), alterações estruturais e funcionais do complexo proteína-pigmento do fotossistema II, em função de estresses causados por déficit hídrico ou por encharcamento, podem ser evidenciadas com o uso da técnica da fluorescência da clorofila *a*, que permite uma avaliação muito apurada do estado funcional do aparelho fotossintético.

De acordo com Araújo (2007), em condições ótimas (sem a ocorrência de fatores estressantes), o valor da razão  $Fv/Fm$  está ao redor de 0,83, corroborando com Prado e Casali (2006), que afirmam que valores máximos em plantas não submetidas a estresses ambientais estão em torno de 0,83 e que a razão  $Fv/Fm$  tem sido o parâmetro mais utilizado para a detecção da fotoinibição da fotossíntese. A redução da razão entre a fluorescência variável ( $Fv$ ) e a fluorescência máxima ( $Fm$ ), indica a perda da eficiência do fotossistema II (ARAÚJO, 2007).

Para Araújo e Deminicis (2009), a relação  $Fv/Fm$  pode variar numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas em condições ambientais ótimas. A diminuição da relação  $Fv/Fm$  é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse e pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível, ou uma inativação irreversível do PSII. Björkman e Powles (1984) salientam que o declínio da relação  $Fv/Fm$  é um bom indicador do dano fotoinibitório, quando as plantas estão sujeitas a estresses do ambiente, incluindo frio e seca.

De acordo com Long, Humphries e Falkowski (1994), a intensidade da fotoinibição pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica do fotossistema II (relação  $Fv/Fm$ ), sendo um processo fisiológico caracterizado pela redução lenta e reversível da fotossíntese como resultado da exposição à luz solar plena. Esta característica da fluorescência é comumente utilizada como indicador de estresse, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a funcionalidade do fotossistema II.

Reduções na assimilação de carbono pelas plantas de aproximadamente 10% podem ocorrer em função da fotoinibição, que tem um efeito tanto na fotossíntese, que é a base do rendimento das culturas, quanto na acumulação de massa seca (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994).



As variáveis de fluorescência da clorofila *a*: fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) foram utilizadas por Tatagiba e Pezzopane (2007), para verificar o comportamento sob condições ambientais adversas de dois clones de eucalipto, em duas épocas do ano (seca e chuvosa), estabelecidos no campo.

Estudos utilizando a fluorescência da clorofila *a* como um dos parâmetros fisiológicos para analisar a resposta de plantas arbóreas submetidas a diferentes intensidades de luz foram desenvolvidos por Baroni (2005), com a espécie *Caesalpinia echinata* Lam., Gonçalves et al. (2010), com mudas de *Carapa guianensis* Aubl e *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd., bem como por Tonetto (2014), em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*. Da mesma forma, Cevolane et al. (2011) utilizando mudas de *Dalbergia nigra* (Vell) Fr. Allem. e Mantoan (2013) com mudas da espécie *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer analisaram a influência do déficit hídrico no crescimento das plantas, com base nas características da fluorescência da clorofila *a*.

Fernández (2006) utilizou a fluorescência da clorofila *a* para estudar a resposta ao alagamento em folhas emergidas e submersas de *Pouteria orinocoensis* (Aubr.) Penn. Ined. e observou que ocorreu a fotoinibição dinâmica, em vez de crônica, nas folhas emergidas, fato evidenciado pela ausência de danos fotoquímicos, ou seja, a manutenção do rendimento máximo quântico em folhas submersas.

Com base nestas citações, fica evidente a importância da utilização tanto das análises morfológicas, como das fisiológicas na determinação dos melhores tratamentos aplicados na produção de mudas e no crescimento inicial a campo de espécies arbóreas.



## 3 CAPÍTULO I

# EFEITO DE DOSES DE POLÍMERO HIDRORETENTOR E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE MUDAS DE *Cordia trichotoma*

### 3.1 Resumo

Estudo com relação às necessidades hídricas na produção de mudas de espécies arbóreas nativas, com a utilização de polímeros hidroretentores incorporados no substrato, pode representar ganho econômico, ambiental e de qualidade da muda. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi definir, com base em variáveis morfofisiológicas, qual lâmina de irrigação é indicada, combinada ou não com doses de polímero hidroretentor adicionadas ao substrato, na produção de mudas de *Cordia trichotoma*, visando à redução no consumo de água. O substrato foi utilizado com diferentes dosagens do polímero hidroretentor (0; 1,5; 3,0 e 4,5 g L<sup>-1</sup>). Aos 140 dias após a semeadura, na fase de crescimento, as mudas foram submetidas a combinações diferentes de três lâminas de irrigação (4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>), ao longo do tempo. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (polímero hidroretentor x combinação das lâminas de irrigação), totalizando 24 tratamentos, com 4 repetições. Após 180 dias da aplicação das lâminas foram obtidas as variáveis morfológicas: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), relação H/DC, número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), relação MSPA/MSR, massa seca total (MST), área foliar (AF), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), além das variáveis fisiológicas, utilizando-se os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*. Mudas de *C. trichotoma* apresentam estresse hídrico aos 180 dias sob lâmina de 4 ou 12 mm contínuos de irrigação. Obteve-se um desenvolvimento adequado das mudas com lâminas de irrigação de 4–8–8 mm dia<sup>-1</sup>, alternadas a cada 60 dias, sendo possível a utilização de uma menor lâmina no início do crescimento, dessa forma reduzindo o consumo de água. A utilização contínua da lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> é possível, desde que associada à adição da dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor ao substrato.

**Palavras-chave:** Louro-pardo. Produção de mudas. Manejo hídrico. Hidrogel.

### 3.2 Abstract

Study relating to water requirements in the production of native species seedlings with the use of water retaining polymers incorporated into the substrate and as this may represent economic and environmental profit as well as seedling quality. Thus, the objective of this research was to define, based on morphological and physiological variables, which irrigation blade is recommended, whether or not combined with water retaining polymers doses added to the substrate in the production of quality *Cordia trichotoma* seedlings, aiming to reduce water consumption. The substrate was used with different dosages of water retaining polymer (0, 1.5, 3.0 and 4.5 g L<sup>-1</sup>). At 140 days after sowing, in the growth stage, the seedlings were subjected in different combinations to three irrigation blades (4, 8 and 12 mm day<sup>-1</sup>) over time. The experiment was conducted in a completely randomized design and in factorial arrangement (water retaining polymer x combination of irrigation blades), totaling 24 treatments, with four repetitions. After 180 days of applying the irrigation blades the following morphological variables were obtained: shoot height (H), stem diameter (SD), H/SD relation, leaf number (LF), biomass of the aerial part (BAP), biomass of root (BR), BAP/BR relation, total biomass (TB), leaf area (LA), Dickson Quality Index (DQI), in addition to physiological variables, using the fluorescence parameters of chlorophyll *a*. *C. trichotoma* seedlings are intolerant to water stress after 180 days under blade 4 or 12 mm continuous irrigation. A suitable development of seedlings was obtained with irrigation blades of 4-8-8 mm day<sup>-1</sup>, alternating in every 60 days with the possibility of using a smaller blade at the start of growth, thereby reducing water consumption. The permanent use of the 4 mm day<sup>-1</sup> blade is possible, since associated with an addition of a 3 g L<sup>-1</sup> dose of water retaining polymer to the substrate.

**Keywords:** *Cordia trichotoma*. Seedling production. Water management. Hydrogel.

### 3.3 Introdução

A demanda de produtos florestais tem aumentado em consonância com o acelerado crescimento populacional e consequente aumento do consumo de biomassa lenhosa. Frente a isso, existe um paradoxo entre o uso de espécies florestais com silvicultura conhecida ou de nativas, que além da importância comercial, também apresentam um papel ambiental. Entretanto, no contexto comercial, sabe-se que a tecnologia para o uso de espécies florestais deve avançar em relação a vários pontos, partindo do melhoramento às técnicas adequadas de produção.

Aliado a isso, o desequilíbrio existente entre a demanda e a oferta de produtos florestais de espécies arbóreas nativas é evidente, o que invariavelmente advém da exploração de recursos naturais, pois não há produção expressiva proveniente de plantações estabelecidas com essas espécies.

Esse desequilíbrio somente poderá ser solucionado pela oferta de produtos originados de plantações florestais com espécies nativas, uma vez que a demanda por produtos florestais oriundos destas deverá crescer, não apenas no Brasil, mas, também, em nível mundial (BRASIL, 2007). Nesse sentido, é crescente a necessidade de pesquisas que aperfeiçoem a produção de mudas de espécies florestais arbóreas nativas, com qualidade morfofisiológica e em condições de atender os objetivos dos plantios.

A qualidade das mudas pode ser expressa por características morfológicas, fisiológicas e nutricionais, resultando da soma de fatores genéticos e práticas de manejo no viveiro, sendo determinantes para a obtenção de povoamentos de alta produtividade (SILVA, 2003).

A produção de mudas em recipientes apresenta algumas particularidades no manejo da irrigação, em função do reduzido volume de substrato que limita a quantidade de água armazenada para as mudas. Assim, em comparação com cultivos agrícolas em solos, as irrigações exigem maior frequência e menor intensidade (RODRIGUES, 2007).

Nas plantas, a água é requerida como reagente no metabolismo vegetal, atuando no transporte e translocação de solutos, turgescência celular, abertura e fechamento dos estômatos e penetração do sistema radicular, sendo o principal constituinte do tecido vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, a água atua como reservatório de calor, permitindo que a planta absorva grande quantidade de radiação solar sem que ocorra elevação da sua temperatura a níveis letais às células. Adicionalmente, devido ao alto calor latente da água, a

transpiração proporciona refrigeração da planta, dissipando o calor absorvido da radiação solar (MORENO-FONSECA, 2009).

A quantidade de água interfere diretamente no desenvolvimento das plantas, portanto, o conhecimento do manejo hídrico ideal para a fase de formação e desenvolvimento das mudas é tão importante quanto todos os outros processos de produção, como adubação, sombreamento, substratos, recipientes, entre outros (NOVAES et al., 2002).

Na atualidade, é crescente a necessidade do desenvolvimento de estudos que visem à definição da lâmina bruta diária recomendada para cada espécie florestal arbórea, durante a fase de viveiro, considerando que as exigências variam em função das características das espécies. Assim, uma alternativa para se obter maior eficiência no uso da água nessa etapa de produção, tem sido a utilização de polímeros hidroretentores, que podem contribuir para a maior retenção da água e diminuição da irrigação, o que pode favorecer a produção de mudas tanto em quantidade, quanto em qualidade (NAVROSKI et al., 2015).

Estudos com polímeros hidroretentores são realizados principalmente para espécies de *Eucalyptus*, como Azevedo (2014), com *Eucalyptus* spp., Ramos (2012) e Gomes (2013), com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e Navroski et al. (2015), com *Eucalyptus dunnii* Maiden, no entanto, para espécies nativas como *Cordia trichotoma* (louro-pardo), não existem na literatura informações sobre a utilização de polímeros hidroretentores incorporados no substrato, nem com relação às necessidades hídricas na produção de mudas desta espécie.

Diante do exposto, torna-se importante avaliar a influência do polímero hidroretentor sobre a qualidade de mudas de espécies arbóreas florestais, principalmente as nativas, cujos estudos são escassos na literatura.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi definir, com base em variáveis morfofisiológicas, se o uso de polímero hidroretentor misturado ao substrato permite a redução da lâmina de irrigação na produção de mudas de qualidade superior de *Cordia trichotoma*, assim como identificar a lâmina necessária para o melhor desenvolvimento das plantas, sem o desperdício de água.

### 3.4 Material e métodos

#### 3.4.1 Caracterização geral da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' 14,71'' S e 53° 43' 17,02'' O), no município de Santa Maria (RS).

A altitude do local é de 95 m e o clima da região de acordo a classificação de Köppen pertence ao tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). De acordo com Alvares et al. (2013), a precipitação mensal na região é bem distribuída, sendo entre 100 e 170 mm.

O experimento foi desenvolvido de novembro de 2013 a maio de 2014. Os dados meteorológicos relativos ao período de acompanhamento do experimento foram obtidos na Estação Meteorológica de Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, que é conveniada ao 8º Distrito de Meteorologia, fazendo parte do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Na Tabela 2 é possível observar os dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação registrados no município de Santa Maria, durante a realização do experimento. Na região ocorrem as quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios no período do estudo foram julho e agosto de 2013, e os mais quentes em dezembro de 2013, janeiro e fevereiro de 2014. A precipitação mensal ficou abaixo da estimada para a região nos meses setembro e dezembro de 2013 e acima, nos meses de agosto e novembro de 2013 e março e maio de 2014. O mês de novembro apresentou a maior velocidade média de vento e o maior valor de radiação ocorreu no mês de dezembro de 2013.

#### 3.4.2 Coleta dos frutos, beneficiamento e produção das mudas

Os diásporos de *Cordia trichotoma* utilizados para a produção das mudas foram coletados em junho de 2013, de seis matrizes localizadas no Distrito de Arroio do Só, Município de Santa Maria, RS. As árvores foram selecionadas com base nas suas

características fenotípicas superiores, ou seja, forma do tronco, altura, distribuição de copa, condição fitossanitária, vigor e produção de sementes, de preferência com maturidade (GOMES; PAIVA, 2011). Tomou-se cuidado para que as matrizes estivessem distanciadas, no mínimo, 100 m entre si, para evitar consanguinidade (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

Tabela 2 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (Pp) e radiação (Rad) registradas no Município de Santa Maria, RS.

<b>Mês/Ano</b>	<b>T Md °C</b>	<b>T Max °C</b>	<b>T Min °C</b>	<b>UR %</b>	<b>Vel Vento (m/s)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Rad. (kJ/m<sup>2</sup>)</b>
Julho/13	13,5	28,5	-0,4	81,8	1,8	126,4	10204,0
Agosto/13	13,2	31,2	1,9	79,8	2,1	178,2	12520,5
Setembro/13	17,4	34,5	2,6	77,3	2,2	78,8	16204,4
Outubro/13	19,3	34,2	8,3	75,5	2,2	113,2	19385,9
Novembro/13	22,5	34,7	12,4	73,7	2,4	305,6	21718,2
Dezembro/13	25,2	38,8	14,9	72,3	2,1	97,8	25632,0
Janeiro/14	25,9	37,4	15,6	76,4	2,0	139,6	21529,4
Fevereiro/14	25,2	40,0	15,1	77,5	2,1	123,2	19547,3
Março/14	21,8	34,7	7,4	82,1	1,7	241,8	17408,7
Abril/14	19,9	34,0	7,3	83,0	1,9	116,0	13815,3
Mai/14	15,6	26,2	4,7	89,4	1,4	193,8	9286,2

Fonte: Estação Climatológica Principal de Santa Maria, instalada no Departamento de Fitotecnia no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os frutos coletados foram colocados em bandejas e passaram por uma secagem natural prévia durante 48 h (Apêndice 1 A), para, em seguida, serem macerados em peneira para a retirada das pétalas persistentes. Após o beneficiamento, formou-se o lote de diásporos (aquênios mais sementes) que permaneceu armazenado à temperatura ambiente até a semeadura.

Na produção das mudas foram utilizados tubetes cilíndrico-cônicos de polipropileno com seis estrias internas salientes, com diâmetro superior interno de 3,5 cm, altura de 14 cm e volume de 110 cm<sup>3</sup>. Os tubetes foram acondicionados em bandejas de polipropileno com dimensões de 62 cm de comprimento, 42 cm de largura e 16,5 cm de altura, com capacidade para 96 tubetes.

O substrato utilizado foi um produto comercial composto, produzido a partir de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK.



As características descritas para o produto, conforme os fabricantes são: Nitrogênio Total 18% (p/p); Fósforo ( $P_2O_5$ ) 5% (p/p) solúvel em CNA + água; Potássio ( $K_2O$ ) 9% (p/p) solúvel em água; pH =  $5,0^{+/-} 0,5$ ; condutividade elétrica (CE) =  $0,7 \pm 0,3 \text{ mS cm}^{-1}$ ; densidade =  $101 \text{ kg m}^{-3}$ ; capacidade de retenção de água = 55% e umidade máxima = 60%.

Na adubação de base foi utilizado o fertilizante mineral de liberação controlada (FLC), na formulação NPK 18-05-09, na dosagem de  $8 \text{ g L}^{-1}$  de substrato, sendo a dose máxima segundo recomendação do fabricante. No preparo em betoneira, ambos, substrato e aditivo foram misturados e umedecidos, sendo posteriormente misturado o polímero hidrorretentor, previamente hidratado.

Como polímero hidrorretentor foi utilizado um produto sintético misto de copolímero de acrilamida e acrilato de potássio usado, segundo o fabricante, para absorver e reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de  $0,8 \text{ g cm}^{-3}$  e índice de pH utilizável de 5 a 9, disponibilizando até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume, sendo compatível com a maioria dos insumos utilizados, porém com capacidade de retenção afetada e vida útil que varia de 1 a 5 anos (conforme a granulometria).

A omissão ou dosagens do polímero consistiram em: D1 - sem polímero; D2 - 1,5 g do polímero por litro de substrato; D3 - 3 g do polímero por litro de substrato; D4 - 4,5 g do polímero por litro de substrato.

O preenchimento dos tubetes com o substrato foi feito de forma manual, sendo, em seguida, as bandejas submetidas à mesa compactadora por cerca de 10 s, objetivando acomodar e uniformizar a densidade do substrato, sequencialmente completando-se os recipientes até a superfície.

A semeadura foi realizada no dia 18/06/2013, diretamente nos recipientes. Em cada tubete foram colocados de três a quatro diásporos, recobertos com uma fina camada do mesmo substrato. Após a semeadura, as bandejas com os tubetes foram dispostas sobre bancadas metálicas com 0,80 m de altura, em casa de vegetação, onde permaneceram por 114 dias, tendo em vista a lenta emergência. A irrigação diária, nos primeiros 70 dias (período de inverno), foi de cerca de  $2 \text{ mm dia}^{-1}$ , passando a, aproximadamente,  $4 \text{ mm dia}^{-1}$  nos demais, em seis ocasiões (Apêndice 1 B).

A emergência iniciou 28 dias após a semeadura, ocorrendo de forma irregular e se estendendo por, aproximadamente, 50 dias (Apêndice 1 C). As condições climáticas do

período, com dias muito úmidos e de baixa temperatura, contribuíram para a demora do início da emergência. Algumas plântulas começaram a apresentar os primórdios da formação do 1º protófilo apenas 45 dias após o início da emergência.

No raleio foram eliminadas as plantas excedentes, mantendo-se apenas uma por recipiente, dando preferência para a mais centralizada e com dois pares de folhas. Nesse momento, as mudas foram transferidas para outro setor da casa de vegetação, na qual as bandejas foram dispostas no chão e a irrigação realizada por uma barra de irrigação com aspersores do tipo microaspersão, com vazão de, aproximadamente, 4 mm dia<sup>-1</sup>, acionada por um *timer* 2 vezes por dia (Apêndice 1 D e E).

A adubação de cobertura foi iniciada aos seis meses após a semeadura, utilizando-se sulfato de amônio e cloreto de potássio, segundo a recomendação de Silva e Angeli (2006). A cada 15 dias foram intercaladas as adubações, sendo utilizados N e K<sub>2</sub>O no primeiro momento, no seguinte, somente N, após N e K<sub>2</sub>O, e assim por diante.

### 3.4.3 Teste de uniformidade da irrigação

Para definir o tempo necessário de irrigação a ser aplicado nas lâminas previstas nos tratamentos, foi realizado o teste de uniformidade dos aspersores, na primeira quinzena do mês de outubro de 2013.

O método utilizado na avaliação da uniformidade de irrigação foi descrito por Salassier, Soares e Mantovani (2006), o qual consistiu em colocar coletores em uma malha de pontos em torno do aspersor, com o objetivo de analisar o desempenho de cada um. A área em torno do aspersor foi dividida em subáreas quadradas, nas quais os coletores de precipitação foram colocados no centro.

A quantidade de água liberada foi medida em 15 microaspersores dispostos em três linhas de irrigação, da marca Fabrimar<sup>®</sup>, modelo Sempreverde grama, com diâmetro dos bocais de 8,34 mm x 6,8 mm e ângulo do jato de 360°, alocados nas extremidades de hastes, formadas com cano PVC de 1,5 m de altura da superfície do solo, atingindo um raio de, aproximadamente, 3,6 m, conforme indicações do fabricante.

Três conjuntos moto-bomba da marca Schneider<sup>®</sup> foram utilizados para emissão da água, sendo um para cada linha de aspersão, tendo a pressão na base de 15 m de coluna d'água (mca), e a vazão total de 0,57 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Os coletores da marca Fabrimar<sup>®</sup>, com diâmetro de 7,7 cm, foram colocados sobre barras de ferro, dispostos 0,5 m da superfície do solo e posicionados em uma área de 3,5 m x 3,5 m, equidistantes 0,5 m entre si (Apêndice 2 A e B). Assim, o volume ou a lâmina d'água coletada em cada coletor representou a precipitação em cada subárea.

Na área experimental estavam dispostas seis linhas de irrigação, sendo que cada duas linhas eram irrigadas com uma bomba. Durante o experimento apenas estavam abertas as linhas 1, 3, 5 e 6. Nas linhas 1 e 3 o teste foi realizado com as linhas 2 e 4 fechadas. Na linha 5, diferente das demais, realizou-se o teste com as duas linhas abertas. A pressão de serviço das bombas foi determinada no jato do bocal principal, por meio de um manômetro acoplado à bomba, sendo seu valor registrado no momento da realização do teste. Na linha 1, a pressão de operação da bomba foi de 2,9 atm, na linha 3, de 2,6 atm e, na linha 5, de 3,3 atm.

Em cada aspersor foram utilizados 64 coletores, cujo volume de água coletado após 30 minutos de funcionamento do sistema de irrigação foi transferido para uma pipeta dosadora, sendo registrada a quantidade em mL (mililitros).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foi determinado para cada linha de aspersores, utilizando-se a seguinte equação:

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}$$

Sendo:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em decimal;

n = número de observações;

$X_i$  = lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

$\bar{X}$  = lâmina média aplicada.

Um sistema com CUC de 80% significa que, aproximadamente, 80% da área receberá uma lâmina maior ou igual à lâmina média de aplicação (lâmina bruta). A lâmina bruta de irrigação é diretamente afetada pela uniformidade de distribuição da água, sendo que, quanto maior, menor será a lâmina necessária para atingir a produtividade esperada (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação é avaliada com base em parâmetros que a qualifica, sendo que coeficientes acima de 90% são considerados de excelente uniformidade, de 80-90% de boa

qualidade, de 70-80%, regular, de 70-60% ruim e inaceitável, abaixo de 60%. O CUC determinado para a linha 1 de aspersores (lâmina de 8 mm dia<sup>-1</sup>) foi de 84,35%, na linha 3 (lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup>), 89,75% e, na linha 5 (lâmina de 12 mm dia<sup>-1</sup>), 75,5%. Os resultados observados para as linhas 1 e 3 podem ser considerados como bons, segundo os autores anteriormente referidos, e regular, para a linha 5.

#### 3.4.4 Instalação do experimento de lâminas de irrigação

Aos 140 dias após a semeadura, as mudas de *C. trichotoma* foram pré-selecionadas com relação à altura, com o objetivo de homogeneização das parcelas e as bandejas foram levadas para área externa à estufa, com distribuição aleatória e submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Foram separadas 2.304 plantas, sendo 1.152 para compor a área útil e 1.152 para a bordadura, sendo distribuídas em 24 bandejas com 96 plantas.

Nesta etapa as bandejas estavam com preenchimento de 100% das células e, após 15 dias, foi realizada a alternagem das mudas nas bandejas. O experimento passou a ser constituído por 48 bandejas com 48 plantas, sendo quatro bandejas por tratamento, cada uma com duas dosagens de polímero hidroretentor.

Os canteiros longitudinais formados pelas bandejas, dispostas lado a lado, foram definidos para receberem a lâmina de irrigação específica (Apêndice 2 C e D). A cada 20 dias realizou-se a alteração na disposição das bandejas, com base em sorteio aleatório, dentro de cada canteiro.

Os horários e os tempos de irrigação de cada lâmina foram controlados automaticamente por temporizadores acoplados ao sistema de irrigação.

As mudas foram protegidas ao longo do experimento contra o excesso de luminosidade e vento, com a utilização de tela de nylon tipo sombrite de cor preta, com nível de sombreamento de 50% (Apêndice 2 E), que eram removidas nos horários das irrigações. Para proteção contra a incidência de precipitações, foram utilizadas lonas plásticas transparentes (Apêndice 2 F). Nos dias em que a precipitação ocorreu ao longo do período, a irrigação automática foi desligada e as lâminas diárias de irrigação foram administradas nos canteiros nos horários em que não estava chovendo (Apêndice 2 – G). Cuidados com relação à incidência de plantas daninhas foram constantes, com retirada das mesmas dos tubetes, bem como controle nos espaços no entorno dos canteiros.

### 3.4.5 Tratamentos avaliados e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, onde a parcela principal foi composta pela combinação das lâminas de irrigação e a subparcela pelas doses do polímero hidroretentor. O experimento considerou três lâminas de irrigação (4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>), volumes utilizados em diferentes combinações ao longo do tempo e quatro dosagens de polímero hidroretentor (sem polímero, 1,5 g L<sup>-1</sup>, 3 g L<sup>-1</sup> e 4,5 g L<sup>-1</sup> de substrato), sendo 24 tratamentos, com 4 repetições cada um, distribuídos em três canteiros.

Com base no Teste de Uniformidade, as lâminas efetivas de irrigação utilizadas (4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>), definidas com base em pesquisas desenvolvidas por Lopes, Guerrini e Saad (2007) e Dutra (2012), foram distribuídas em diferentes frequências e horários diários, visando otimizar a automatização do sistema de irrigação.

Na definição da frequência diária de irrigações, bem como dos horários das mesmas, considerou-se a recomendação de Lopes, Guerrini e Saad (2007). Assim, foi definida a frequência de aplicação em três horários ao longo do dia, com distribuição nos canteiros conforme o que consta na Tabela 3. Cabe salientar que, durante o período de horário de verão, as irrigações foram adiantadas em 1 h, para considerar o horário real previsto.

Tabela 3 – Lâmina de água, frequência diária, quantidade (mm), horários e tempo de irrigação utilizados na produção de mudas de *C. trichotoma*, Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), Santa Maria, RS.

Lâmina de água (mm dia <sup>-1</sup> )	Frequência (vezes/dia)	Quantidade (mm/frequência)/ Horário das irrigações	Tempo de cada irrigação (min.)
Lâmina 4 (3 <sup>a</sup> fileira)	3	2 mm /10h	6
		1 mm /13h	3
		1 mm /16h	3
Lâmina 8 (1 <sup>a</sup> fileira)	3	4 mm /10h08min.	15
		2 mm /13h05min.	7
		2 mm /16h05min.	7
Lâmina 12 (5 <sup>a</sup> fileira)	3	4 mm /10h25min.	10
		4 mm /13h14min.	10
		4 mm /16h14min.	9

Os tratamentos analisados, com base nas combinações de lâminas de irrigação utilizadas ao longo de todo o período do experimento (180 dias), constam na Tabela 4. Os tratamentos com as lâminas de irrigação I1, I4 e I6 permaneceram os 180 dias nas mesmas linhas de irrigação. Os tratamentos com as combinações de lâminas de irrigação I2, I3 e I5 passaram por mudança de linha de irrigação aos 60 dias, sendo que os tratamentos com a combinação I3 passaram por mais uma mudança aos 120 dias.

Tabela 4 – Relação dos tratamentos (T) considerando combinações de lâminas de irrigação (I: 4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>) e doses de polímero hidroretentor (D: 0; 1,5; 3,0 e 4,5 g L<sup>-1</sup>) em diferentes fases de desenvolvimento (0 a 60, 61 a 120, 121 a 180 dias após aplicação dos tratamentos), na produção de mudas de *C. trichotoma*, Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), Santa Maria, RS.

Tratamento/combinação de lâminas de irrigação/dose do polímero	Combinação de lâminas de irrigação	Tempo (dias)		
		0 a 60	61 a 120	121 a 180
T01: I1D1 – T02: I1D2 – T03: I1D3 – T04: I1D4	I1	4*	4	4
T05: I2D1 – T06: I2D2 – T07: I2D3 – T08: I2D4	I2	4	8	8
T09: I3D1 – T10: I3D2 – T11: I3D3 – T12: I3D4	I3	4	8	12
T13: I4D1 – T14: I4D2 – T15: I4D3 – T16: I4D4	I4	8	8	8
T17: I5D1 – T18: I5D2 – T19: I5D3 – T20: I5D4	I5	8	12	12
T21: I6D1 – T22: I6D2 – T23: I6D3 – T24: I6D4	I6	12	12	12

Combinações de lâminas de irrigação: I1 = 4-4-4 mm dia<sup>-1</sup>, I2 = 4-8-8 mm dia<sup>-1</sup>, I3 = 4-8-12 mm dia<sup>-1</sup>, I4 = 8-8-8 mm dia<sup>-1</sup>, I5 = 8-12-12 mm dia<sup>-1</sup>, I6 = 12-12-12 mm dia<sup>-1</sup>. Doses do polímero: D1 = 0, D2 = 1,5, D3 = 3,0, D4 = 4,5 g L<sup>-1</sup>. \* mm dia<sup>-1</sup>.

### 3.4.6 Parâmetros analisados como indicadores de qualidade

As variáveis morfológicas das mudas medidas em 16 plantas por tratamento, obtidas no final do experimento, decorridos 180 dias da aplicação das lâminas nas plantas, foram: altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC). A H foi obtida com régua milimetrada (cm), da superfície do substrato até o último lançamento de folhas e o diâmetro do coleto (DC), medido com paquímetro digital de precisão (mm), permitindo o cálculo da relação H/DC. Também foram realizadas as seguintes avaliações morfológicas: número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA) (g), massa seca radicular (MSR) (g) e área foliar

(AF) (cm<sup>2</sup>). Para as análises destrutivas foram utilizadas duas plantas por repetição (oito por tratamento), totalizando 192 plantas.

A partir desses dados, foi possível a obtenção de parâmetros como a relação massa seca da parte aérea e massa seca radicular (MSPA/MSR), massa seca total (MST) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), calculado por meio da seguinte fórmula, descrita em Gomes e Paiva (2011):

$$IQD = \frac{MST (g)}{\frac{H (cm)}{DC (mm)} + \frac{MSPA (g)}{MSR (g)}}$$

Sendo: IQD = índice de qualidade de Dickson; MST = massa seca total; H/DC = relação altura/diâmetro do coleto; MSPA/MSR = relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular.

Na análise da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR), as raízes e a parte aérea das mudas foram seccionadas com o auxílio de tesoura de poda na região do coleto. A parte radicular foi lavada sobre peneiras (malhas nº 4, 16 e 20), visando à retirada do substrato e, após, as raízes foram colocadas em bandejas de plástico durante 12 h, para remoção do excesso de umidade. As amostras de cada repetição foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel Kraft, identificadas e colocadas em estufa, com circulação forçada de ar, a 60 °C, até atingirem peso constante. Após a secagem foram pesadas em balança digital de precisão do tipo capela (0,001 g), para a determinação da matéria seca da parte aérea e das raízes.

A área foliar foi obtida utilizando-se as mesmas amostras da biomassa, sendo processadas antes da secagem do material. Foram utilizadas oito mudas de cada tratamento, das quais foi retirada a parte aérea com o auxílio de uma tesoura de poda, e suas folhas foram fixadas em papel branco (folha A4), sendo, após, recobertas por vidro transparente, para posterior fotografia. Foi utilizada uma régua milimetrada para o dimensionamento, e as amostras foram fotografadas com o uso de câmera digital, marca Sony, modelo DSC T-100, apoiada em uma estrutura com altura fixa de 0,50 m e zoom de 1.4 e, posteriormente, as imagens foram processadas no software de análise de imagens UTHSCSA Image Tool for Windows version 3.00, obtendo-se a área foliar.

A análise fisiológica realizada foi a fluorescência da clorofila *a*, mensurada por meio do fluorômetro de pulso modulado JUNIOR-PAM (Walz, Alemanha), sendo determinados os

parâmetros: fluorescência inicial ( $F_0$ ), razão fluorescência variável/fluorescência máxima (eficiência fotoquímica máxima do PSII) ( $F_v/F_m$ ) e a taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ). A medição foi realizada no período entre 7h30min e 10h, aos 180 dias após a instalação do experimento, em quatro plantas por tratamento.

No momento da avaliação as plantas estavam na fase inicial de perda das folhas, tendo em vista a caducifolia da espécie, portanto, na seleção das folhas buscou-se analisar aquelas completamente expandidas, com largura, comprimento e aparência representativa do tratamento, representando o terço médio das plantas, não sendo uma folha nem tão jovem e, nem tão velha. Antes das medições as folhas passaram por uma pré-adaptação no escuro, com o uso de papel alumínio por 30 minutos, para a determinação da fluorescência inicial ( $F_0$ ) e, posteriormente, submetidas a um pulso de luz saturante ( $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por 0,6 s, determinando-se, assim, a fluorescência máxima ( $F_m$ ). A eficiência fotoquímica máxima do PSII ( $F_v/F_m$ ) foi calculada pela razão  $(F_m - F_0)/F_m$ .

A taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) foi determinada por meio de curvas de luz (taxa de transporte de elétrons versus fluxo de fótons fotossintéticos), as quais foram construídas submetendo-se cada amostra a nove níveis de radiação (0, 125, 190, 285, 420, 625, 820, 1150 e  $1500 \mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), por 10 s.

### 3.4.7 Análise dos dados

Com a utilização do programa Microsoft Excel® e do suplemento *Action*, os dados observados foram, inicialmente, avaliados quanto às pressuposições de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (teste de Bartlett), as quais, quando não atendidas, tiveram os dados transformados (*Box-Cox*) para, então, realizar-se a análise de variância.

Quando observada diferença significativa entre tratamentos pelo teste F, os mesmos tiveram as médias comparadas pelo teste Tukey e/ou regressão polinomial, ao nível de 5% de probabilidade de erro. No caso de efeito significativo de equações quadráticas, determinou-se a dose de máxima eficiência técnica (DMET). Na análise estatística dos dados foi utilizado o pacote estatístico SISVAR v. 5.3 (FERREIRA, 2011).



### 3.5 Resultados

Constatou-se a interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (lâminas de irrigação x doses do polímero hidroretentor) para as variáveis morfológicas altura da parte aérea (H) e relação H/DC. Para o diâmetro do coleto (DC), não houve interação significativa entre os tratamentos, nem efeito significativo para os fatores isolados (Apêndice 3).

Para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) as doses e as lâminas apresentaram efeito significativo e, para massa seca radicular (MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD), a análise demonstrou efeito apenas para lâminas de irrigação ( $p < 0,05$ ). A relação MSPA/MSR não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, bem como o número de folhas (NF) e a área foliar (AF) (Apêndice 4).

De forma geral, na maior lâmina de irrigação (12 mm dia<sup>-1</sup>), na combinação I6, associada com a maior dose de polímero hidroretentor (4,5 g L<sup>-1</sup>), foi observada altura média inferior, semelhante à da menor lâmina I1 (4 mm dia<sup>-1</sup> constante), sem a adição de polímero ou com 1,5 g L<sup>-1</sup> de substrato (Figura 1).

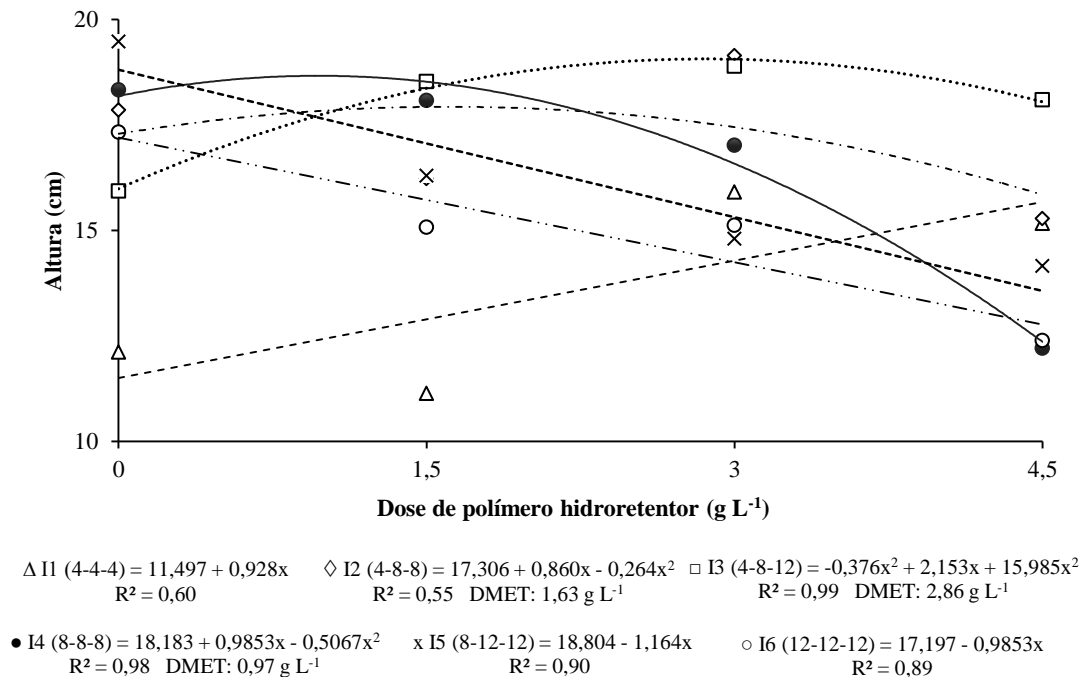
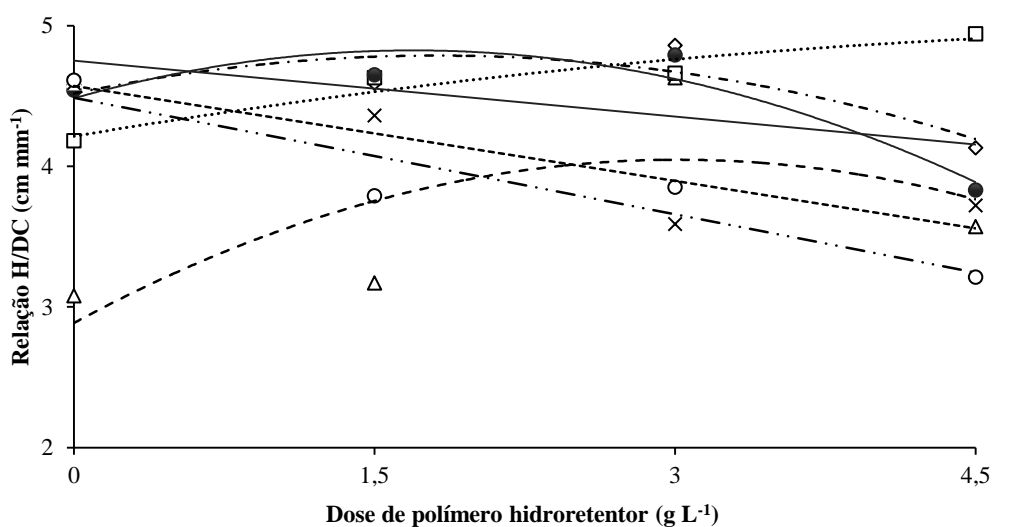


Figura 1 – Crescimento em altura de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidroretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS.

A variável diâmetro do coleto não foi influenciada pelas doses de polímero hidrorretentor e lâminas de irrigação, apresentando uma média geral de 3,88 mm e, a relação H/DC, em todas as combinações, apresentou valores entre 3 e 5 (Figura 2).



$$\begin{aligned} \Delta \text{ I1 (4-4-4)} &= 2,885 + 0,770x - 0,127x^2 & \diamond \text{ I2 (4-8-8)} &= 4,517 + 0,298x - 0,082x^2 & \square \text{ I3 (4-8-12)} &= 4,213 + 0,239x - 0,018x^2 \\ R^2 &= 0,50 & \text{DMET: } &3,03 \text{ g L}^{-1} & R^2 &= 0,71 & \text{DMET: } &1,81 \text{ g L}^{-1} & R^2 &= 0,92 & \text{DMET: } &6,64 \text{ g L}^{-1} \\ \bullet \text{ I4 (8-8-8)} &= 4,483 + 0,402x - 0,119x^2 & \times \text{ I5 (8-12-12)} &= 4,572 - 0,2253x & \circ \text{ I6 (12-12-12)} &= 4,486 - 0,276x \\ R^2 &= 0,88 & \text{DMET: } &1,70 \text{ g L}^{-1} & R^2 &= 0,80 & & & R^2 &= 0,86 \end{aligned}$$

Figura 2 – Relação altura/diâmetro do coleto de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS.

A influência das doses de polímero hidrorretentor sobre as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) pode ser observada nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Os maiores valores de MSPA e MST foram obtidos com a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidrorretentor adicionada ao substrato. Verifica-se que a dose de máxima eficiência técnica foi de 2,42 e 2,37 g L<sup>-1</sup> de polímero hidrorretentor para as variáveis MSPA e MST, respectivamente.

As demais variáveis morfológicas (MSR, relação MSPA/MSR, IQD, NF e AF) não foram influenciadas pela dosagem do polímero hidrorretentor.

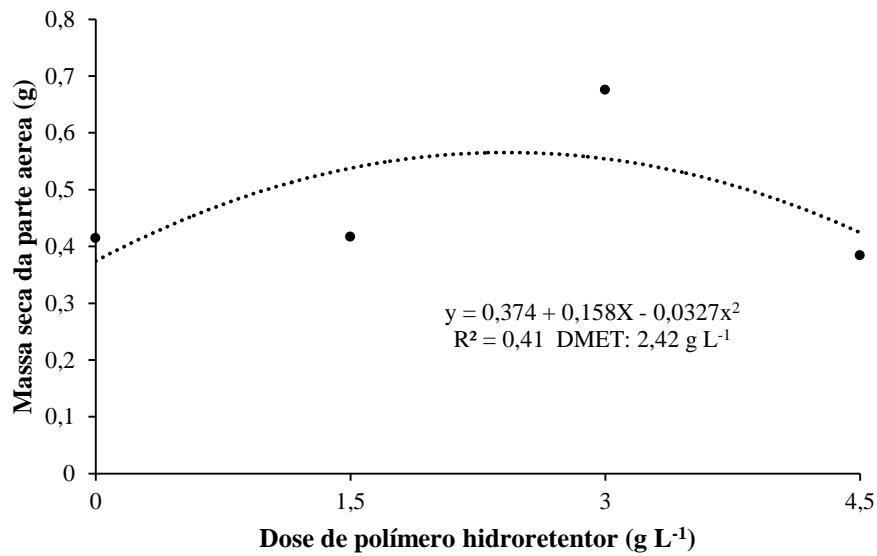


Figura 3 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS.

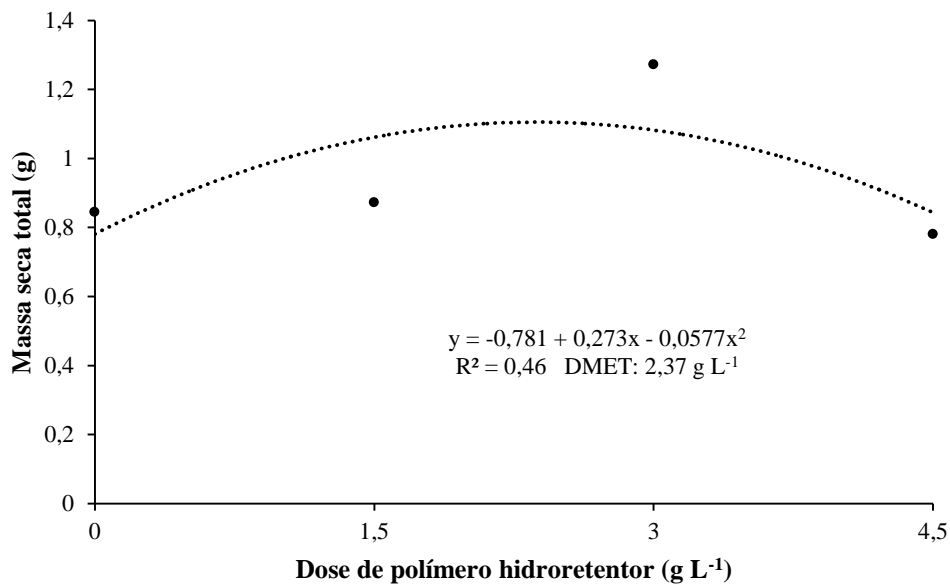


Figura 4 – Massa seca total (MST) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS.

Nas diferentes lâminas de irrigação, a MSPA apresentou a maior média na combinação de lâminas I1 (Tabela 5), não diferindo das combinações I2, I3 e I4, sendo que as

maiores lâminas de irrigação (I5 e I6) apresentaram as menores médias. As maiores médias de MSR e MST ocorreram na lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup>, não diferindo das demais combinações de lâminas, exceto da maior lâmina de irrigação (I6), que apresentou a menor média. Estas variáveis proporcionaram o maior IQD na lâmina de irrigação de 4 mm dia<sup>-1</sup>. Entretanto, as variáveis relação MSPA/MSR, NF e AF não foram influenciadas pelas combinações de lâminas.

Tabela 5 – Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma*, em função de lâminas de irrigação, aos 180 dias, Santa Maria, RS.

Irrigação (mm dia <sup>-1</sup> )	MSPA (g)	MSR (g)	MSPA/ MSR	MST (g)	IQD	NF	AF (cm <sup>2</sup> )
I1 (4 - 4 - 4)	0,547 a*	0,645 a	0,889 <sup>ns</sup>	1,193 a	0,263 a	6,38 <sup>ns</sup>	45,63 <sup>ns</sup>
I2 (4 - 8 - 8)	0,477 ab	0,423 ab	1,123	0,899 ab	0,160 b	6,63	38,08
I3 (4 - 8-12)	0,489 ab	0,464 ab	1,043	0,952 ab	0,168 b	5,67	37,37
I4 (8 - 8 - 8)	0,493 ab	0,506 ab	1,071	0,999 ab	0,182 b	6,79	41,94
I5 (8 -12-12)	0,460 b	0,429 ab	1,002	0,880 ab	0,170 b	5,75	32,71
I6 (12-12-12)	0,373 c	0,387 b	1,048	0,760 b	0,159 b	5,38	35,29
Média	-	-	1,029	-	-	6,10	38,50
CV (%)	-	-	29,62	-	-	27,66	38,50

I: Irrigação (0-60 dias; 61 a 120 dias; 121 a 180 dias na fase de crescimento). CV: Coeficiente de variação.

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade.

Na análise de variância, para a variável fluorescência inicial ( $F_0$ ) houve interação significativa entre lâminas de irrigação x doses do polímero hidrorretentor. Para a variável rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) não houve efeito significativo dos tratamentos e, para a taxa de transporte de elétrons (ETR), houve efeito significativo apenas para o fator lâminas de irrigação ( $p < 0,05$ ) (Apêndice 5).

Na Figura 5 é possível observar que o menor valor médio da fluorescência inicial da clorofila *a* ( $F_0$ ) foi obtido em I2 (4-8-8), na ausência do polímero hidrorretentor, porém com valores superiores, principalmente com a lâmina constante de 12 mm dia<sup>-1</sup> (I6), aos 180 dias de crescimento de mudas de *C. trichotoma*. Com exceção das combinações contendo 12 mm dia<sup>-1</sup> (I3, I5 e I6), no período final da produção de mudas (180 dias), nenhuma das doses proporcionou estresse suficiente capaz de aumentar expressivamente o valor de  $F_0$ , o que indicaria comprometimento do processo fotossintético.

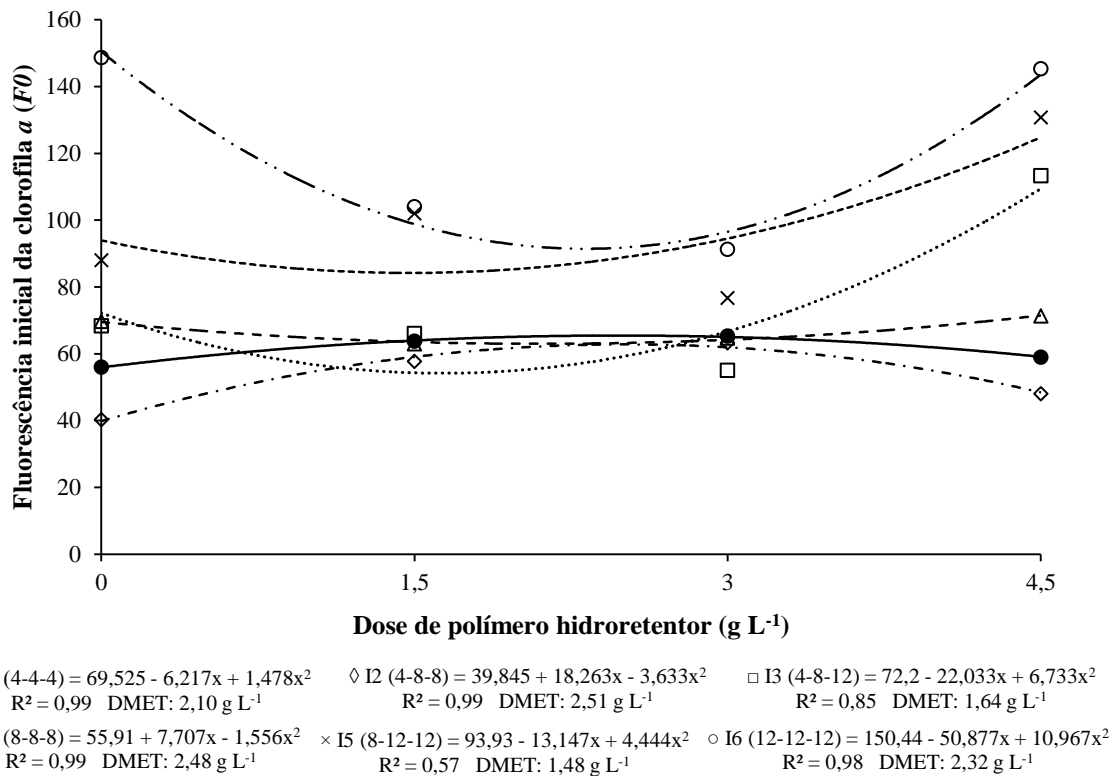


Figura 5 – Fluorescência inicial da clorofila *a* ( $F_0$ ) de mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor nas diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos lâminas de irrigação, Santa Maria, RS.

A relação  $F_v/F_m$ , que representa a eficiência quântica potencial do fotossistema II (PRADO; CASALI, 2006; ARAÚJO, 2007), não foi influenciada pela irrigação, apesar de apresentar a maior média na I2 (Tabela 6) e na taxa de transporte de elétrons fica evidente a superioridade da irrigação I2, seguida por aquelas sem a presença da maior lâmina (12 mm dia<sup>-1</sup>), as quais demonstraram menor  $ETR$ , principalmente, observando-se a lâmina constante de 12 mm dia<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Tabela 6 – Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) de mudas de *C. trichotoma* em função das diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias, Santa Maria, RS.

Irrigação (mm dia <sup>-1</sup> )	$F_v/F_m$	$ETR$
I1 (4 - 4 - 4)	0,6550 <sup>ns</sup>	54,77 b *
I2 (4 - 8 - 8)	0,7358	85,06 a
I3 (4 - 8 -12)	0,6800	43,17 cd
I4 (8 - 8 - 8)	0,6975	51,86 bc
I5 (8 -12-12)	0,6108	42,85 d
I6 (12-12-12)	0,6833	21,58 e
Média	0,6771	49,88
CV%	13,63	16,64

I: Irrigação (0-60 dias; 61 a 120 dias; 121 a 180 dias na fase de crescimento). CV: Coeficiente de variação.

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

### 3.6 Discussão

Com base nos resultados (Figura 1) pode-se observar que os menores crescimentos em altura das mudas de *Cordia trichotoma* ocorreu com a lâmina de irrigação de 4 mm dia<sup>-1</sup>, sem a adição do polímero ou com a dose de 1,5 g L<sup>-1</sup>, fato esse que pode estar associado à quantidade de água não ter sido suficiente, o que pode ter ocasionado diminuição da atividade fotossintética e do volume celular (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, o déficit hídrico reduz as atividades fisiológicas ligadas à divisão e ao crescimento das células, ou seja, reduz o crescimento das plantas, afetando diretamente a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, diminuindo a eficiência do processo de fixação de carbono, suprimindo a formação e expansão foliar, podendo, inclusive, induzir a queda de folhas (PALLARDY, 2008).

Da mesma forma, as maiores lâminas de irrigação, associadas com maiores doses do polímero, foram prejudiciais ao crescimento em altura das mudas, uma vez que o excesso de água também pode provocar uma diminuição do crescimento, fato também destacado por Navroski et al. (2015), que verificaram que a maior lâmina de irrigação (20 mm) e o uso de hidrogel provocaram diminuição no crescimento de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Segundo Pallardy (2008) a fotossíntese é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo tanto em solos secos quanto em solos encharcados, influenciando diretamente no crescimento das mudas. As raízes das mudas produzidas com excesso de umidade reduzem a capacidade de realizar trocas gasosas e de absorverem água e nutrientes, uma vez que a planta

reduz a transpiração e, conseqüentemente, o metabolismo é prejudicado, havendo redução do seu crescimento (MEDRI et al., 2011).

Buscando identificar a combinação de lâminas que proporcionou desenvolvimento adequado de mudas de *C. trichotoma* sem desperdício de água, foi possível verificar que a combinação de lâminas I2 (4-8-8) apresentou uma altura semelhante às combinações com maiores lâminas de irrigação, I4 (8-8-8) e I6 (12-12-12), mesmo sem a adição de polímero hidrorretentor ao substrato. Uma maior economia de água, considerando essa variável, seria possível somente com o acréscimo de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidrorretentor ao substrato e a utilização da lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 1).

Diferentes resultados são observados na literatura quanto à influência da utilização de polímeros hidrorretentores no crescimento das mudas. Maldonado-Benitez et al. (2011) encontraram maiores H e DC na produção de mudas de *Pinus greggii* Engelm utilizando a dose de 4 g L<sup>-1</sup> de hidrogel. Na produção de mudas de *Morus* sp. por estacas, Moreira et al. (2010) encontraram melhor crescimento com a incorporação da dose de 5 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroabsorvente, assim como Gomes (2006) verificou que a adição de doses de polímero ao substrato de produção de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth, apresentou benefícios no crescimento do DC dessas plantas.

Resultados similares foram obtidos por Mews (2014), que observou que os tratamentos com a adição do polímero hidroabsorvente e da adubação de cobertura influenciaram de forma positiva o crescimento das mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos, *H. impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Myracrodruon urundeuva* Allemão, assim como por Bernardi et al. (2012), que verificaram maior incremento em H e DC de mudas de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson produzidas com a adição de 6 g L<sup>-1</sup> de substrato de polímero. Além de obter melhor crescimento e qualidade de mudas, o uso do hidrogel possibilitou a redução das lâminas de irrigação na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden (NAVROSKI et al., 2015).

Resultados divergentes quanto à adição de polímero hidrorretentor em substrato a base de terra de subsolo + esterco bovino + vermiculita (3:1:1), foram observados por Sousa et al. (2013) na produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., sendo que doses de polímero incorporadas ao substrato, não afetaram o crescimento da parte aérea das plantas. Gomes (2013) ao analisar a influência do hidrorretentor na produção de clones de *Eucalyptus* sp., verificou que a qualidade das mudas não foi influenciada pelo hidrorretentor e Ramos (2012) concluiu que, a utilização de doses reduzidas de polímero adicionadas a substrato a

base de fibra de coco e turfa (0,33; 0,66 e 1 g L<sup>-1</sup>), podem não causar efeitos positivos no crescimento de mudas clonais de eucalipto.

Os valores observados para a relação H/DC foram menores do que 10 em todos os tratamentos (Figura 2), o qual, segundo Birchler et al. (1998), é o padrão recomendado para espécies florestais. De acordo com Carneiro (1995) e Gomes e Paiva (2011), quanto menores forem os valores da relação H/DC, maior será a capacidade de sobrevivência e estabelecimento das mudas de espécies florestais em campo.

Influência significativa dos tratamentos doses de hidrogel e adubação sobre a variável H/DC, em consonância com os resultados observados nesta pesquisa, foram observados por Mews (2014) em mudas de *Handroanthus ochraceus* e *Myracrodruon urundeuva*, em que a maior média (7,96) para *H. ochraceus* foi verificada com a aplicação de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato de hidrogel e, para *M. urundeuva*, a maior média (10,64), foi verificada com 4 g L<sup>-1</sup>. Assim como para Azevedo (2014), em que dosagens do polímero de 2 a 4 g L<sup>-1</sup>, com lâmina de irrigação de 9 a 12 mm proporcionaram maiores valores de H/DC em mudas de clones de *Eucalyptus* sp.

Na menor lâmina de irrigação foi observada a maior MSPA (Tabela 5), fato que corrobora que o excesso de umidade ocasionado pela maior lâmina (12 mm dia<sup>-1</sup>) foi prejudicial para as mudas. Este resultado pode indicar que menores lâminas de irrigação podem ser utilizadas, desde que com adição de polímero hidrotentor no substrato, para produção de mudas de *C. trichotoma*.

O excesso de umidade ocasiona a hipóxia, estado de baixo teor de oxigênio nos tecidos orgânicos, o que provoca variações na respiração aeróbia, interferindo no crescimento e desenvolvimento das diferentes partes da planta, em função da redução na produção de fotoassimilados, causada pela menor taxa fotossintética (FERNÁNDEZ, 2006; PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006). De acordo com Medri et al. (2011), plantas submetidas ao estresse produzido pelo excesso de umidade apresentam diminuição do crescimento da parte aérea, pois estas ficam sujeitas ao déficit hídrico, principalmente pela menor absorção de água causada por modificações na permeabilidade das membranas das células das raízes, levando a uma menor condutividade hidráulica nas raízes.

Os resultados encontrados de MSPA (Figura 3) são similares aos verificados por Mews (2014) na produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva*, em que a incorporação de 3 g L<sup>-1</sup> de hidrogel no substrato apresentou o maior valor médio para essa variável, assim como por Azevedo (2014), na produção de mudas clonais de *Eucalyptus* sp., em que a dose de polímero hidrotentor de 2 g L<sup>-1</sup>, associada à lâmina de irrigação de 9 e 12 mm apresentaram



os maiores valores de MSPA. Navroski et al. (2015) verificaram maiores médias de MSPA em mudas de *Eucalyptus dunnii* com o uso de 3 e 6 g L<sup>-1</sup> de hidrogel no substrato, nas menores lâminas de irrigação (4, 8 e 12 mm dia<sup>-1</sup>).

O maior valor de MSR observado na menor lâmina de irrigação (4 mm dia<sup>-1</sup>) (Tabela 5), demonstra a capacidade da espécie em responder positivamente a determinado estresse hídrico, no que concerne a baixa disponibilidade de água constante ao longo do desenvolvimento, com aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar (Tabela 2) nos meses mais quentes (dezembro de 2013 a fevereiro de 2014).

Desta forma, constata-se que, em condições de déficit hídrico, podem ocorrer mudanças na distribuição e alocação de biomassa entre o sistema radicular e a parte aérea, sendo o crescimento da parte aérea mais severamente inibido do que o crescimento das raízes, o que foi verificado por Nagakura et al. (2004) em mudas de *Cryptomeria japonica* D. Don e *Chamaecyparis obtusa* (Siebold et Zucc.) Endl., em que o tratamento com restrição hídrica reduziu o crescimento acima do solo, porém aumentou a alocação de biomassa para as raízes, em ambas as espécies.

Na menor lâmina de irrigação (4 mm dia<sup>-1</sup>), ao ser adicionada a dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero ao substrato, observou-se a maior MSR, fato esse que pode estar associado ao polímero hidrotentor ser um produto hidrófilo, ou seja, além de absorver a água, retêm a umidade no sistema radicular (SCREMIN-DIAS et al., 2006), auxiliando no crescimento da muda.

Resultados similares para a MSR de mudas de *Myracrodruon urundeuva*, também foram verificados por Mews (2014), em que o polímero hidrotentor influenciou positivamente, sendo que os maiores valores foram observados com as concentrações de 3 e 4 g L<sup>-1</sup> de hidrogel. Maiores médias de MSR em mudas de clones de *Eucalyptus* sp. também foram obtidas nos tratamentos com polímero hidrotentor acrescido no substrato (AZEVEDO, 2014).

Os menores valores de MSPA (Figura 3) e MST (Figura 4) observados na dose de 4,5 g L<sup>-1</sup> de polímero hidrotentor, bem como os obtidos com a lâmina de irrigação de 12 mm dia<sup>-1</sup> (Tabela 5), podem estar associados ao excesso de umidade no substrato, o que reduz a disponibilidade de oxigênio, acarretando no menor crescimento das plantas (MEDRI et al., 2012). Azevedo (2014) salientou que, provavelmente dosagens elevadas do polímero promovem a manutenção de maior umidade no substrato, diminuindo sua porosidade e, conseqüentemente, o oxigênio disponível para as raízes.

As variáveis relação MSPA/MSR, NF e AF provavelmente não apresentaram valores diferentes estatisticamente entre si, apesar da variação observada nos resultados, devido aos altos valores de coeficiente de variação verificados para estas variáveis (Tabela 5).

O maior valor para a relação MSPA/MSR observado foi 1,123 na combinação de lâminas I2 (Tabela 5). Os resultados obtidos são inferiores ao valor 2,0, indicado por Gomes e Paiva (2011) como sendo o adequado para representar a qualidade de mudas de espécies florestais para esta variável. Mews (2014) também observou para a relação parte aérea/raiz, o maior valor médio (1,28) inferior ao valor 2,0, na produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva*, resultado da incorporação de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato de hidrogel.

O maior valor de IQD (0,263) foi observado para a lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup>, diferindo dos demais resultados (Tabela 5). Apesar da dose de polímero não ter influenciado este índice, como os maiores valores de MSPA e MST foram observados na dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor, o IQD foi igualmente superior para esta dose, estando diretamente relacionado com os maiores valores encontrados para as biomassas secas.

Malavasi e Malavasi (2006) encontraram maior média de IQD (0,15) em mudas de *C. trichotoma* dez semanas após a repicagem, valor inferior ao observado neste trabalho. Dutra (2012), avaliando lâminas de irrigação, aos 184 dias após a semeadura, encontrou para *Luehea divaricata* Mart. et Zucc., IQD médio de 1,66 e para *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan a lâmina de irrigação de 4 mm dia<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores de IQD (0,64), seguida da lâmina de 8 mm dia<sup>-1</sup> (0,62). Mews (2014) observou, aos 160 dias após a instalação do experimento, que para *Handroanthus ochraceus*, o maior valor de IQD (1,34) foi obtido com a dose de 1 g L<sup>-1</sup> de substrato de polímero hidroabsorvente, assim como para *Myracrodruon urundeuva*, que foi de 1,1.

Pode-se observar nesses resultados, que os valores de IQD variam em função da espécie, bem como da fase de crescimento das mudas, porém, apesar desta variável ser considerada como completa para determinar a qualidade de plantas, por englobar atributos de H, DC e biomassa, a análise dos dados obtidos é dificultada pelo fato de na literatura não haver valores de referência para as espécies arbóreas nativas, fato igualmente salientado por Aimi (2014).

O número de folhas (NF) e a área foliar (AF) apesar de não apresentarem diferença estatística significativa entre os tratamentos, ao se considerar a maior MSPA obtida para a dose de 3 g L<sup>-1</sup>, pode-se inferir que as folhas das mudas neste tratamento influenciaram este valor, provavelmente por apresentarem maiores dimensões, uma vez que o NF foi semelhante entre os tratamentos. Possivelmente, essa maior MSPA resultante do aumento da AF, seria

uma estratégia de aumentar a área de captação de luz e o número de estômatos, promovendo assim, a maior perda de água.

Resultados divergentes foram observados por Mews (2014) em mudas de *Handroanthus impetiginosus* e *Myracrodruon urundeuva*, que apresentaram um maior NF com a incorporação de hidrogel ao substrato, fato igualmente observado por Gomes (2006) em plantas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth e por Azevedo (2014), em mudas clonais de *Eucalyptus* sp.

O menor valor médio da fluorescência inicial da clorofila *a* (*F0*) foi obtido em I2 (4-8-8), na ausência do polímero hidrorretentor (Figura 5), o que demonstra as melhores condições das mudas em relação aos demais tratamentos, uma vez que quanto menor o valor de *F0*, melhor para a planta, pois na ausência de luz, o aparato fotossintético de uma planta que não esteja sob condições de estresse encontra-se totalmente oxidado (PRADO; CASALI, 2006). Este resultado indica que a maior quantidade de energia está sendo direcionada à etapa fotoquímica da fotossíntese, do que sendo empregada na fluorescência.

Em relação ao aumento do *F0* em combinações contendo a lâmina de irrigação de 12 mm dia<sup>-1</sup>, de acordo com Medri et al. (2011), plantas submetidas ao excesso de umidade apresentam redução na taxa de crescimento relativo, em função da queda na taxa fotossintética, com conseqüente redução na produção de fotoassimilados. Em muitas espécies vegetais, a hipóxia pode provocar variações na fotossíntese (PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006; FERNÁNDEZ, 2006), podendo afetar o crescimento e desenvolvimento das diferentes partes da planta em ambiente com excesso de umidade (PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006).

Tatagiba e Pezzopane (2007) igualmente observaram diferentes resultados para a variável *F0* em mudas de dois clones de *Eucalyptus* sp. estabelecidos no campo, sendo que durante a época seca foram encontrados maiores valores para os dois clones, em relação a época chuvosa, o que pode indicar menor possibilidade de adaptação das plantas às condições fotoinibitórias provenientes da deficiência hídrica encontrada no solo, ou seja, que o sistema de absorção de luz do PSII atuou mais eficientemente na época chuvosa, do que em relação a época seca.

No caso de plantas de *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer submetidas ao estresse hídrico por falta de água, Mantoan (2013) não observou diferenças nos resultados de *F0* entre os tratamentos. Para as plantas irrigadas os valores de *F0* variaram de 245 a 280 e para as plantas submetidas à suspensão de irrigação, de 234 a 305. Isto contribuiu para enfatizar a ausência de dano ao PSII, uma vez que o aumento desta variável serve como um indicativo de que houve dano ao centro de reação do PSII (ZLATEV; YORDANOV, 2004).

Os resultados encontrados para a variável  $F_v/F_m$  (Tabela 6), segundo Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), são considerados de plantas estressadas, pois estes autores afirmam que a razão  $F_v/F_m$  deve variar de 0,75 a 0,85, quando uma planta não está submetida a nenhum tipo de estresse. Valores inferiores a 0,75 indicariam a ocorrência de danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese no fotossistema II.

Rendimentos quânticos máximos do PSII ( $F_v/F_m$ ) semelhantes e compreendidos entre os valores considerados não estressantes para as plantas (0,75 a 0,85), de dois clones de *Eucalyptus* sp. após plantio no campo, em duas épocas do ano (seca e chuvosa), foram verificados por Tatagiba e Pezzopane (2007), evidenciando que a deficiência hídrica no solo e as condições climáticas, não foram suficientes para provocar danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese no PSII.

Resultados semelhantes foram observados por Trovão et al. (2007) em dez espécies arbóreas da Caatinga em dois períodos de observação: estiagem e chuvoso, em que os dados revelaram ótimos estados nos aparatos fotossintéticos, não indicando condição de estresse. No período de estiagem os valores de  $F_v/F_m$  variaram de 0,7347 a 0,8026 e no chuvoso de 0,7738 a 0,8290, portanto, uma vez que embora tenha sido percebida uma tendência a valores inferiores no período de estiagem, estes não ficaram abaixo da faixa ótima da eficiência quântica.

Variações na relação  $F_v/F_m$  foram descritas por Fernández (2006), que reduziu significativamente em folhas submersas de *Pouteria orinocoensis* (Aubr.) Penn. Ined., chegando a valores inferiores a 0,6, e não houve alteração em folhas em situação de alagamento. Assim como Gonçalves et al. (2012) observou em plantas totalmente alagadas de *Genipa spruceana* Steyererm valores menores do que 0,4 para a  $F_v/F_m$ , considerados muito baixos pelos autores, que concluíram que, estes valores indicaram diminuição na capacidade do PSII reduzir o aceptor primário da quinona A. A conectividade entre os sistemas antena do fotossistema II é muito sensível ao alagamento, podendo ser utilizado para identificar o grau de suscetibilidade ou tolerância ao estresse (PANDA et al., 2006).

Apesar da variável  $F_v/F_m$  representar a potencialidade do fotossistema II captar energia radiante, essa pode não ser efetivada. Tal situação é evidenciada na combinação de lâminas I6, pois nessa condição há um reduzido crescimento em altura, elevada fluorescência inicial e mais baixa  $ETR$  (Tabela 6). Nesse caso, por meio da  $ETR$  é possível observar que I2 foi a melhor combinação de lâminas para produção de mudas de *C. trichotoma*, e que lâminas contendo 12 mm dia<sup>-1</sup> de irrigação são inadequadas. Esses resultados indicam a baixa

demanda hídrica dessa espécie quando comparada com a espécie *Eucalyptus grandis*, descrita em Lopes, Guerrini e Saad (2007).

No caso da variável fisiológica *ETR*, pode-se considerar que a lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> (I1), apresentou resultado inferior à combinação I2 (4-8-8 mm dia<sup>-1</sup>), o que pode significar uma reação negativa das mudas ao déficit de umidade.

Os resultados de *ETR* divergem dos observados por Mantoan (2013), que não encontrou diferenças entre os tratamentos nas diferentes densidades de fluxo de fótons fotossintéticos, ao analisar a capacidade de recuperação de *Annona emarginata* após estresse hídrico.

Com base nestes resultados das variáveis de fluorescência, pressupõe-se que a distribuição de energia entre os complexos coletores de luz do PSII, os centros de reação e o acceptor final do PSII apresentaram diferenças entre os tratamentos utilizados, podendo as variáveis avaliadas pela emissão de fluorescência ser exploradas para estudos do comportamento do crescimento de mudas em viveiros.

No caso específico de *C. trichotoma*, os resultados que demonstraram diferenças significativas entre as variáveis da fluorescência da clorofila *a* analisadas, indicam que na produção de mudas esta espécie é sensível aos fatores doses de polímero hidroretentor adicionadas ao substrato, bem como às diferentes lâminas de irrigação. A sensibilidade da espécie pode ser percebida pela intolerância ao estresse hídrico, causado pelo déficit de umidade e, principalmente, pelo excesso de água na irrigação.

Na análise de crescimento de mudas de *C. trichotoma* em viveiro, com base nos resultados observados, as variáveis que mais contribuíram nas indicações da lâmina de irrigação e dose de polímero hidroretentor a ser adicionada no substrato foram H, *F0* e *ETR*. As variáveis *MSPA* e *AF* foram importantes na constatação da habilidade da espécie em modificar o tamanho da folha para auxiliar na dissipação da água, mantida pela dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor. Os resultados de *MSR* e *MST* evidenciaram a estratégia da espécie em aumentar o sistema radicular na busca de água, fato constatado na menor lâmina de irrigação (4 mm dia<sup>-1</sup>) constante ao longo do tempo.

As variáveis *DC*, relação *MSPA/MSR* e o *NF*, não se mostraram adequadas para a seleção do melhor tratamento, apesar de outras pesquisas terem constatado respostas indicativas por meio dessas variáveis para outras espécies arbóreas, assim como o *IQD* não foi um bom indicativo, tendo em vista que o elevado valor da *MSR* sob reduzida irrigação, proporcionou o aumento da *MST*, conseqüentemente, ambos elevaram o *IQD*, indicando não

qualidade superior das mudas, mas resposta a uma situação de estresse ambiental (menor disponibilidade de água), por meio do aumento do sistema radicular.

Com base nos resultados, pode-se inferir que, um crescimento adequado das mudas de *C. trichotoma* em nível de viveiro pode ser obtido, com uma variação da lâmina de irrigação ao longo do período de 4–8–8 mm dia<sup>-1</sup>, portanto, sendo possível a utilização de uma menor lâmina no início do crescimento, quando as mudas ainda apresentam menores dimensões e as condições climáticas são mais favoráveis, assim reduzindo o consumo de água. A utilização da lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup> na produção de mudas é possível, desde que associada com a adição da dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor ao substrato.

### 3.7 Conclusões

Na produção de mudas de *Cordia trichotoma*, o uso de lâminas de irrigação variando bimensalmente em 4-8-8 mm dia<sup>-1</sup> apresentou, de maneira geral, nas condições deste estudo, os melhores resultados para as variáveis morfofisiológicas avaliadas.

O uso da dose de 3 g L<sup>-1</sup> de substrato do polímero hidroretentor permite a utilização contínua da lâmina de 4 mm dia<sup>-1</sup>.

## 4 CAPÍTULO II

### COMPORTAMENTO DE *Cordia trichotoma* EM DIFERENTES INTENSIDADES DE SOMBREAMENTO NA FASE INICIAL DE PLANTIO

#### 4.1 Resumo

Estudos sobre o comportamento das espécies em condições de diferentes intensidades luminosas são imprescindíveis para que seja alcançado êxito no plantio das mudas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento inicial a campo, com base em variáveis morfofisiológicas de mudas de *Cordia trichotoma*, em função de diferentes níveis de sombreamento. Os tratamentos utilizados foram: 0% (pleno sol); 18%; 50% e 70% de sombreamento. A sobrevivência das mudas foi analisada aos 180 dias após o plantio. As variáveis morfológicas: altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e relação AP/DC foram avaliadas a cada dois meses. No final do experimento obteve-se o diâmetro da copa (DCOPA), a área horizontal da copa (AHC), o número de ramos (NR), o comprimento médio dos ramos (CMR), o número de folhas (NF), a área foliar (AF), a massa seca foliar (MSF), a massa seca de caule e ramos (MSCR), a massa seca da parte aérea (MSPA), o volume de raízes (VR), o comprimento de raízes (CR) e a densidade de raízes (DR). As análises fisiológicas foram realizadas aos 90 e 180 dias após a instalação do experimento, avaliando-se a quantificação dos pigmentos fotossintéticos e a fluorescência da clorofila *a*. A parte aérea das plantas teve o crescimento influenciado negativamente na condição de pleno sol. A produção de pigmentos fotossintéticos, a fluorescência inicial da clorofila *a* e o rendimento quântico máximo do fotossistema II, não foram influenciados pelos níveis de sombreamento, mas sim pela época do ano, uma vez que a qualidade de luz do verão é positiva para o desenvolvimento da espécie. A taxa de transporte de elétrons (*ETR*) evidenciou que o sombreamento de 70% não é o mais recomendado. A espécie *C. trichotoma* responde com muita plasticidade às diferentes intensidades luminosas. Os sombreamentos de 18 e 50% proporcionam crescimento e valores fisiológicos favoráveis ao desenvolvimento inicial da espécie.

**Palavras-chave:** Louro-pardo. Crescimento a campo. Parâmetros morfológicos e fisiológicos.

## 4.2 Abstract

Studies on the behavior of the species in conditions of different light intensities are essential in order to achieve success in planting the seedlings. Thus, the aim of this study was to evaluate the initial behavior in the field, based on morphological and physiological variables of *Cordia trichotoma* seedlings, due to different levels of shading. The treatments were: 0% (full sun); 18%; 50% and 70% of shading. The survival of seedlings was evaluated at 180 days after planting. The following morphological variables were obtained: plant height (PH), stem diameter (SD) and PH/SD were evaluated in each 2 months. In the end of the experiment the crown diameter (DCROWN), horizontal crown area (HCA), branch number (BN), average length of branches (ALB), leaf number (LN), leaf area (LA), leaf biomass (LB), branch and stem biomass (BSB), biomass of the aerial part (BAP), root volume (RV), root length (RL) and root density (RD). Physiological analyzes were performed at 90 and 180 days after the beginning of the experiment, evaluating the quantification of photosynthetic pigments and chlorophyll *a* fluorescence. The aerial part of the plant had the growth negatively influenced in full sun condition. The production of photosynthetic pigments, the initial fluorescence of chlorophyll *a* and the maximum quantum efficiency of photosystem II were not influenced by levels of shading. On the hand, they were influenced by the season, since the quality of summer light is positive for the development of the species. The electron transport rate (ETR) showed that the shading of 70% is not recommended. The *C. trichotoma* species responds very plastically to different light intensities. The shading of 18 and 50% provides propitious growth and physiological values for the early development of the species.

**Keywords:** *Cordia trichotoma*. Field growth. Morphological and physiological parameters.



### 4.3 Introdução

O sucesso em plantios com espécies arbóreas nativas, tanto de interesse econômico, como de recuperação ou recomposição de áreas florestais, somente será alcançado por meio de conhecimentos com relação à produção de mudas de qualidade, bem como às exigências silviculturais das espécies.

De acordo com Brasil (2007) é necessário aproveitar o potencial produtivo das espécies florestais brasileiras, tanto para a produção de matéria-prima com fins econômicos, quanto para trabalhos de recuperação de áreas alteradas. Para isso é imprescindível desenvolver sistemas de produção silvicultural e agroflorestal com embasamento científico e adequadas técnicas operacionais. Considerando-se a qualidade da madeira e a importância econômica e ambiental, selecionou-se a espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) conhecida, popularmente, como louro-pardo, para desenvolver estudos com relação ao desenvolvimento inicial a campo, uma vez que são escassas essas informações.

De acordo com Lorenzi (1992) o louro-pardo é uma espécie heliófita, no entanto, segundo Carvalho (2003), suporta sombreamento leve. Quanto ao grupo sucessional é classificada como secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999), com tendência à pioneira (CARVALHO, 1994), sendo exigente em luz, porém tolerando sombreamento no início da vida, tendo crescimento inicial moderado ou rápido e duração de vida entre 25 e 100 anos (RENNER et al., 2010).

Na implantação de povoamentos florestais nativos, pesquisas sobre as características morfofisiológicas das mudas e o comportamento de cada espécie em diferentes intensidades luminosas, são imprescindíveis para que se obtenha êxito no empreendimento.

A eficiência no crescimento das plantas pode estar relacionada à habilidade de adaptação às condições luminosas do ambiente e, para conhecer a resposta de espécies submetidas a diferentes condições de luminosidade, alguns estudos sobre o crescimento de árvores nativas têm sido realizados (SILVA et al., 2007), geralmente por meio do controle da radiação incidente por uso de telados redutores da radiação (AGUIAR et al., 2011).

As espécies florestais possuem performances diferenciadas em relação à irradiação solar, por isso estudos que buscam informações a respeito do sombreamento de espécies nativas, trazem subsídios importantes para melhor compreensão do seu papel ecológico na dinâmica de regeneração de florestas e nos plantios (VIDAL, 2008). Segundo Caron et al.

(2010), o conhecimento sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas em diferentes ambientes oferece respostas sobre as melhores condições para as espécies serem cultivadas.

Pouco se conhece sobre as respostas morfofisiológicas de espécies nativas aos diferentes fatores do ambiente, especialmente a luz, cuja utilização fotossintética é fundamental para a distribuição das espécies ao longo de um gradiente de regeneração de clareiras (SOUZA et al., 2009).

Além disso, o uso da concentração dos pigmentos fotossintéticos e da fluorescência da clorofila *a* como ferramentas ecofisiológicas, no que se refere ao comportamento de plantas arbóreas jovens, quando submetidas a diferentes intensidades de irradiância, igualmente é pouco conhecido.

Nesse sentido, sabendo-se que a fase mais crítica para o estabelecimento de uma planta cultivada em viveiro é o pós-plantio imediato, devido à redução da umidade do solo, associada a maior intensidade luminosa e, conseqüente, aumento da temperatura, tem-se a necessidade de entender qual o comportamento das espécies a esta condição, viabilizando seu uso na silvicultura.

A espécie nativa *Cordia trichotoma*, apesar de ter elevado valor econômico e ambiental, não apresenta na literatura informações com relação ao comportamento morfofisiológico quando submetida a diferentes níveis de sombreamento.

Assim, com base em variáveis morfofisiológicas, o estudo objetivou avaliar o comportamento inicial de mudas de *Cordia trichotoma* a campo, em função de diferentes níveis de sombreamento.

## **4.4 Material e métodos**

### **4.4.1 Caracterização geral da área de estudo**

O experimento foi implantado em área pertencente ao Viveiro Florestal, localizado no campus da UFSM (29° 43' 12'' S e 53° 43' 17'' O), município de Santa Maria-RS, com altitude do local de 95 m, sendo conduzido de outubro de 2014 a abril de 2015.

O clima da região, de acordo a classificação de Köppen, pertence ao tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação

pluviométrica média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). De acordo com Alvares et al. (2013), a precipitação mensal na região é bem distribuída, variando de 100 a 170 mm.

Na região ocorrem as quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem o período entre junho e agosto, e os mais quentes, entre dezembro e março.

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Meteorológica de Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, que é conveniada ao 8º Distrito de Meteorologia, fazendo parte do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Na Tabela 7 é possível observar as médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação registrados no município de Santa Maria, durante a realização do experimento. Os meses mais quentes no período do estudo foram janeiro e fevereiro de 2015, e o mais frio foi abril do mesmo ano. A precipitação mensal ficou abaixo da estimada para a região nos meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015 e acima, nos meses de outubro e dezembro de 2014 e janeiro de 2015. O mês de dezembro de 2014 apresentou a maior velocidade média de vento e o maior valor de radiação ocorreu nesse mesmo ano, no mês de novembro.

Tabela 7 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (pp) e radiação (Rad) registrados no Município de Santa Maria, RS.

<b>Mês/Ano</b>	<b>T Md °C</b>	<b>T Max °C</b>	<b>T Min °C</b>	<b>UR %</b>	<b>Vel Vento (m/s)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Rad. (kJ/m<sup>2</sup>)</b>
Outubro/14	22,4	37,2	12,8	78,8	2,2	191,0	20716,3
Novembro/14	22,6	35,1	10,8	73,2	2,1	86,6	23401,1
Dezembro/14	23,2	35,7	13,4	79,0	2,6	324,2	20975,0
Janeiro/15	24,2	36,2	14,6	82,5	1,8	190,2	20494,3
Fevereiro/15	23,7	32,2	16,4	83,7	1,9	90,8	22053,4
Março/15	22,5	33,9	10,9	82,6	1,7	142,4	18635,9
Abril/15	19,3	31,4	10,3	83,7	1,5	131,2	14899,6

Fonte: Estação Climatológica Principal de Santa Maria, instalada no Departamento de Fitotecnia no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

De acordo com Streck et al. (2008), a principal classe de solo da região pertence à Unidade de Mapeamento Santa Maria, denominado de Argissolo, que possui variações dependendo da cota do relevo, o qual varia de suavemente ondulado a ondulado.

A área utilizada para o experimento foi aterrada e posteriormente, passou por uma terraplanagem e estava sendo ocupada para outras pesquisas de plantios de espécies florestais

arbóreas. Na instalação do experimento a área se encontrava com a vegetação herbácea roçada.

#### 4.4.2 Produção de mudas

As mudas de *C. trichotoma* utilizadas no plantio foram produzidas em tubetes cilíndrico-cônicos de polipropileno com capacidade de 110 cm<sup>3</sup>, no Viveiro Florestal do DCFL/UFSM, sendo selecionadas aleatoriamente com base nas características apresentadas com relação à altura (média de 25,1 cm), diâmetro do coleto (média de 5,86 mm), relação altura e diâmetro do coleto (média de 4,47), coloração das folhas, sendo verde-escura na face superior e grisácea na inferior e sem indicativo de problemas de sanidade.

#### 4.4.3 Delineamento experimental e tratamentos avaliados

O experimento foi instalado em delineamento blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, dispostas aleatoriamente (Apêndice 13 A, B e C). Cada repetição foi constituída por quatro mudas, plantadas no espaçamento de 1,0 m x 1,0 m (20 mudas por tratamento), totalizando 80 mudas.

Os tratamentos utilizados foram as diferentes intensidades de sombreamento: T1 – 0% (zero % de sombra ou pleno sol - testemunha); T2 – 18%; T3 – 50% e T4 – 70%. No sombreamento dos tratamentos T2, T3 e T4 foram utilizadas malhas de nylon, dispostas sobre arcos de metal recobertos por canos plásticos, sendo a estrutura sustentada por palanques e tramas de madeira (Apêndice 13 C, D e E). Cada armação foi dimensionada em 2,5 m x 2,5 m na base e 1,8 m de altura. Para garantir que o sombreamento fosse determinado somente pelo sombrite, as armações foram colocadas em uma área aberta.

No entanto, em função de que a maior parte das mudas das parcelas do bloco 3 (62,5%) morreram, e as que sobreviveram não se desenvolveram, desconsiderou-se o bloco 3. Portanto, o experimento passou a ser constituído por quatro blocos, ou seja, quatro repetições de cada tratamento.

#### 4.4.4 Preparo da área, implantação das mudas e instalação do experimento

A instalação do experimento foi feita em outubro de 2014 (tempo zero) e a última avaliação em maio de 2015, 180 dias após o plantio.

Para a definição da adubação a ser feita no plantio, realizou-se a análise do solo da área do experimento, no Laboratório de Análise de Solos da UFSM.

De uma forma geral, a análise do solo da área indicou um pH de muito baixo a médio (5,0 a 5,5), correspondendo a um solo ácido, teor de matéria orgânica (MO) baixo (0,9 a 1,2%), nível de fósforo considerado de muito baixo a médio (2,2 a 8,4 mg.dm<sup>-3</sup>), de potássio alto (64 a 72 mg.dm<sup>-3</sup>), de magnésio alto (1,5 a 2,0 cmolc.dm<sup>-3</sup>), de cálcio de médio a alto (4,0 a 5,9 cmolc.dm<sup>-3</sup>), índice SMP variando de 5,9 a 6,5 e, CTC pH7 média (10,4 a 10,5 cmolc.dm<sup>-3</sup>) (SBCS/CQFS, 2004) (Apêndice 6).

A calagem não foi realizada previamente, tendo em vista que os teores estavam dentro daqueles previstos para espécies florestais, destacando-se que nessa área de implantação do experimento foi realizada uma aplicação de calcário no ano de 2012, a fim de promover a elevação do pH para 5,5 e instalação de um experimento. O calcário utilizado foi com PRNT de 75,1%, sendo aplicado com base na análise do solo, assim optou-se por não realizar outra aplicação.

Para as análises físicas do solo foram efetuadas as coletas de amostras de estrutura preservada e não preservada, em dois locais distintos em cada bloco do experimento. As amostras de estrutura preservada foram coletadas com anéis volumétricos metálicos (0,057 m de diâmetro e 0,03 m de altura), em duas profundidades: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Apêndice 7 A, B e C). Para isso, abriram-se trincheiras de 0,30 m x 0,20 m x 0,20 m, a fim de que os anéis fossem introduzidos no solo. Estas amostras de solo foram utilizadas nas determinações de densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, da umidade (U), da macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic), determinadas pela mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e da porosidade total (Pt), pela percentagem de saturação por água do solo (Apêndice 8).

Amostras de solo de estrutura não preservada, coletadas em cada bloco em três profundidades (0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFSM, servindo para as determinações de granulometria pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), sendo a

classe textural definida de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Apêndice 9).

Em função das características da área do experimento foram realizados drenos nas proximidades, para auxiliarem na drenagem do excesso de umidade do local.

A abertura de covas para o plantio foi realizada com o auxílio de um perfurador de solo, acoplado a um trator (Apêndice 10 A), nas dimensões de 0,3 m de diâmetro x 0,3 m de profundidade (0,02 m<sup>3</sup>), distantes 1 m entre si.

Imediatamente após o plantio (Apêndice 10 B), as mudas foram irrigadas, para a acomodação da terra no entorno do torrão, assim favorecendo a rápida expansão do sistema radicular. No primeiro mês as mudas foram irrigadas, no máximo, a cada três dias sem ocorrência de chuvas, visando minimizar as expressivas temperaturas no período.

Em função do excesso de umidade na época de instalação do experimento, principalmente nos blocos 3 e 4, apesar dos drenos feitos na área, foi necessário realizar replantios de mudas nos primeiros 20 dias.

A adubação utilizada foi definida de acordo com a análise do solo da área do experimento, 30 dias após o plantio, com fertilizante NPK (5-20-20) à base de ureia [(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO], óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (KCl). Em cada muda foram abertas duas covetas laterais e aplicados 100 g de fertilizante, distribuindo 50 g em cada coveta, a uma distância de, aproximadamente, 10 cm da muda (Apêndice 11 A, B e C).

O plantio foi monitorado semanalmente, durante os dois primeiros meses, visando o controle de formigas cortadeiras. Após dois meses do plantio, as observações foram realizadas quinzenalmente. O controle de formigas cortadeiras (gêneros *Atta* e *Acromyrmex*) foi realizado quando necessário, utilizando formicida granulado à base de Sulfluramida ou Fipronil. Foi necessário o uso do inseticida Deltametrina para controlar o ataque de lagarta em uma das parcelas do experimento. Para o controle da matocompetição, no entorno das mudas foram realizadas capinas manuais (coroamento) e entre os blocos o controle foi realizado com capina química, com proteção das mudas, sempre quando necessário.

#### 4.4.5 Sobrevivência e parâmetros morfológicos analisados

A sobrevivência das mudas foi analisada aos 180 dias após o plantio. As variáveis morfológicas: altura da planta (AP) e diâmetro do coleto (DC) foram avaliadas a cada dois

meses. A mensuração da altura da parte aérea e do diâmetro do coleto foi realizada com o auxílio de uma régua (cm) e paquímetro digital de precisão (mm), respectivamente. A partir dessas variáveis foi possível obter a relação altura da planta/diâmetro do coleto (AP/DC).

Aos 180 dias, visando analisar aspectos com relação à influência do sombreamento no crescimento e arquitetura de copa de plantas de *C. trichotoma*, foram obtidas variáveis relacionadas com a interceptação de luz e suporte mecânico (POORTER; BONGERS, 2006; BATISTA, 2011), como diâmetro da copa (DCOPA), área horizontal da copa (AHC), número de ramos (NR), comprimento médio dos ramos (CMR), número de folhas (NF) e área foliar (AF), além das seguintes avaliações morfológicas: massa seca foliar (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR) e massa seca da parte aérea (MSPA), volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) das amostras e do total das amostras de raízes. Estas análises foram feitas em uma planta útil por repetição e, para a definição das mesmas, tomou-se como base a altura e diâmetro de colo médios das plantas de cada repetição.

O diâmetro da copa foi estimado a partir da média dos dois diâmetros transversais da copa, obtidos com régua milimetrada. A área horizontal da copa foi estimada como a projeção circular da copa, considerando-se o diâmetro médio da copa de cada indivíduo. O número de folhas e ramos foi contado manualmente, sendo que foram considerados todas as folhas e ramos com comprimento maior do que 3,5 cm e 10 cm, respectivamente. O comprimento dos ramos foi mensurado do extremo até a inserção no caule principal, com a ajuda de uma régua milimetrada.

No processamento da área foliar, os caules das plantas selecionadas foram seccionados na altura do coleto, com o auxílio de tesoura de poda ou serrote, sendo que as folhas foram separadas da haste principal e ramos, as quais inicialmente foram pesadas e depois utilizadas para a determinação da área foliar (AF). Para a obtenção da área foliar, as folhas foram fixadas em um papel tipo cartolina, branco, tamanho A1, sendo, após, recobertas por vidro transparente, para posterior fotografia. Foi utilizada uma régua milimetrada para o dimensionamento da escala, e as amostras foram fotografadas com o uso de câmera digital, marca Sony, modelo DSC T-100, apoiada em uma estrutura com altura fixa de 1,30 m e zoom de 1.4 e, posteriormente, as imagens foram processadas no software de análise de imagens UTHSCSA Image Tool for Windows version 3.00, obtendo-se a área foliar. Após, as folhas passaram pelo processo de secagem em estufa, a 70 °C, até peso constante e foram pesadas em balança digital de precisão do tipo capela (0,001 g), para a obtenção da massa seca foliar (MSF).

Na análise da massa seca da parte aérea (MSPA), os caules e ramos das plantas selecionadas foram pesados logo após a coleta, colocados em sacos de papel, identificados e secos em estufa, a 70 °C, até peso constante, posteriormente seguindo-se o mesmo procedimento para obtenção de massa seca foliar.

A análise do sistema radicular das plantas se baseou em metodologia adaptada de Viera, Schumacher e Liberalesso (2012). As amostras de solo e raízes foram obtidas em três pontos de amostragem a partir do caule da planta, no sentido norte-sul, nas distâncias de 0,10; 0,20 e 0,30 m, em três profundidades (0,00 – 0,10 m; 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m) (Apêndice 12 A e B). As amostras de solo e raízes foram coletadas após o corte da planta utilizada para obtenção de área foliar e massa seca, com o auxílio de um tubo extrator em aço (trado de caneco), com 0,07 m de diâmetro médio interno, 0,195 m de altura e cabo de 0,90 m. A definição das distâncias em relação ao caule das plantas para obtenção das amostras de solo e raízes levou em consideração as dimensões das covas (0,3 m de diâmetro x 0,3 m de profundidade), que foram abertas para o plantio das mudas.

As amostras coletadas de solo com raízes foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e mantidas em câmara fria até serem processadas sob peneiras sobrepostas de 2,0 e 1,0 mm de malha e serem lavadas com jatos de água (Apêndice 12 C e D). Após a separação dos segmentos de raízes do solo, com a utilização de pinças e com base nas características morfológicas, coloração e flexibilidade das raízes, foram obtidos os volumes das amostras de raízes (VR), com o auxílio de uma proveta contendo um volume inicial de água conhecido. O volume das amostras de raízes foi calculado pela diferença entre o volume final e o volume inicial e determinado em relação ao volume do extrator em  $\text{dm}^3$ . Em seguida, as amostras de raízes foram colocadas em recipientes com água destilada e álcool (12%) e armazenadas em câmara fria (temperatura de 8 a 10 °C e umidade relativa de 80%), até o momento da análise.

Após, as amostras de raízes foram colocadas em bandejas de plástico, para remoção do excesso de umidade, sendo em seguida, distribuídas em um papel branco (folha A4) e recobertas por um vidro transparente. A obtenção das imagens das raízes para processamento foi feita por meio de uma câmera digital (marca Sony, modelo DSC T-100), apoiada em um suporte de altura fixa (0,5 m). As imagens foram processadas com o auxílio do programa UTHSCSA Image Tool for Windows version 3.00. Este programa fornece o perímetro das raízes, a partir do qual foi obtido o comprimento (CR), que foi determinado em relação ao volume do extrator em  $\text{dm}^3$ . Após, as amostras de raízes passaram pelo processo de secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, por um período de 42 horas e, em seguida,



pesadas em balança digital de precisão do tipo capela (0,001 g), para determinação da massa seca. A densidade de raízes foi estabelecida utilizando-se a seguinte equação:

$$DR = MSR/V$$

Onde: DR = densidade de raízes ( $\text{g dm}^{-3}$ ); MSR = massa seca de raízes (g) e V = volume do extrator ( $\text{dm}^3$ ).

#### 4.4.6 Parâmetros fisiológicos analisados

As análises fisiológicas foram realizadas aos 90 e 180 dias após a instalação do experimento a campo, utilizando-se a quantificação dos pigmentos fotossintéticos e a fluorescência da clorofila *a*.

A quantificação dos pigmentos fotossintéticos foi realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Departamento de Biologia da UFSM. Para estas análises, coletou-se a quarta folha expandida de três plantas por tratamento. As folhas foram imediatamente congeladas em  $\text{N}_2$  líquido e, posteriormente, armazenadas em ultra freezer à  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ , até o momento da quantificação.

As concentrações de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e clorofila total (Chl total), bem como o teor de carotenoides foram determinados seguindo a metodologia descrita por Hiscox e Israelsstam (1979), e estimados utilizando-se a fórmula de Lichtenthaler (LICHTENTHALER, 1987). Amostras frescas de folhas (0,1 g) foram maceradas e incubadas a  $65\text{ }^\circ\text{C}$  com dimetilsulfóxido (DMSO) por duas horas, até que os tecidos estivessem completamente branqueados e houvesse a remoção completa dos pigmentos. Após, as absorvâncias da solução foram medidas em espectrofotômetro (SF325NM) (Bel Engenueering, Itália) nos comprimentos de onda de 663, 645 e 470 nm, para clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, respectivamente.

A fluorescência da clorofila *a* foi mensurada por meio do fluorômetro de pulso modulado JUNIOR-PAM (Walz, Alemanha), sendo determinados os parâmetros: fluorescência inicial (*F*<sub>0</sub>), razão fluorescência variável/fluorescência máxima (eficiência fotoquímica máxima do PSII) (*F*<sub>v</sub>/*F*<sub>m</sub>) e a taxa de transporte de elétrons (*ETR*). A medição foi realizada no período entre 7h30min e 10h, em oito plantas por tratamento. Na seleção das

folhas buscou-se analisar aquelas completamente expandidas, com largura, comprimento e aparência representativa do tratamento, localizadas no terço médio das plantas.

Antes das medições as folhas passaram por uma pré-adaptação no escuro, com o uso de papel alumínio por 30 minutos, para a determinação da fluorescência inicial ( $F_0$ ) e, posteriormente, submetidas a um pulso de luz saturante ( $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por 0,6 s, determinando-se, assim, a fluorescência máxima ( $F_m$ ). A eficiência fotoquímica máxima do PSII ( $F_v/F_m$ ) foi calculada pela razão  $(F_m - F_0)/F_m$ .

A taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) foi determinada por meio de curvas de luz (taxa de transporte de elétrons versus fluxo de fótons fotossintéticos), as quais foram construídas submetendo-se cada amostra a nove níveis de radiação (0, 125, 190, 285, 420, 625, 820, 1150 e  $1500 \mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), por 10 s.

#### 4.4.7 Procedimentos estatísticos

Os dados obtidos foram, inicialmente, avaliados com o auxílio do programa Microsoft Excel® e do suplemento *Action* quanto às pressuposições de normalidade, pelo teste Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância, pelo teste de Bartlett, as quais, quando não atendidas tiveram os dados transformados (*Box-Cox*), para, então, realizar-se a análise de variância.

Quando observada diferença significativa entre tratamentos pelo teste F, os mesmos tiveram as médias comparadas pelo teste t de Student, ou teste Tukey e/ou regressão polinomial, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Na análise estatística dos dados foi utilizado o pacote estatístico SISVAR v. 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 4.5 Resultados e discussão

### 4.5.1 Sobrevivência e variáveis morfológicas

A taxa de sobrevivência das mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após o plantio a campo foi de 100% nos tratamentos a pleno sol, 18 e 70% de sombreamento, e de 93,75% de sobrevivência, no tratamento a 50% de sombreamento, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Aos 180 dias para as variáveis altura da planta (AP), relação altura da planta/diâmetro do coleto (AP/DC), diâmetro da copa (DCOPA), área horizontal da copa (AHC), comprimento médio dos ramos (CMR) e número de folhas (NF) (Apêndice 14), área foliar (AF), massa seca foliar (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR) e massa seca da parte aérea (MSPA) (Apêndice 15) foi observada influência significativa ( $p < 0,05$ ) dos níveis de sombreamento. No entanto, o diâmetro do coleto (DC), número de ramos (NR) (Apêndice 14), volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) do total das amostras de raízes (Apêndice 15) não foram influenciados pelos diferentes níveis de sombreamento ( $p < 0,05$ ).

Durante os 180 dias de avaliação do crescimento de mudas de *C. trichotoma*, as mesmas apresentaram capacidade de crescimento em todas as intensidades luminosas, porém os parâmetros avaliados indicaram crescimento diferenciado em relação aos ambientes.

A altura das plantas aumentou com a intensidade de sombreamento. A maior média da variável foi observada no tratamento com 70% de sombreamento e a menor, nas mudas a pleno sol (Tabela 8). O incremento médio para o tratamento 70% foi de 84,63 cm, ou seja, apresentou um acréscimo de 365,41% para a variável altura, mesma tendência observada por Malavasi e Malavasi (2006), em estudo sobre o comportamento a campo de *C. trichotoma*, que utilizaram no plantio mudas com altura média de 4,66 cm e, 180 dias após o plantio, apresentaram 21,42 cm de altura, o que correspondeu a um acréscimo de 359,66% na altura das mudas. Bertolini et al. (2012) observaram um crescimento relativo em altura da mesma espécie de 396,4%, aos 210 dias após o plantio, em Dois Vizinhos, PR. Os autores consideraram o incremento em altura maior que um metro satisfatório no período do estudo, o que atribuíram ao fato da espécie ser pioneira em áreas de regeneração natural, apresentando crescimento rápido quando exposta a pleno sol.

Tabela 8 – Médias de altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e relação altura da planta/diâmetro do coleto (AP/DC) de mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	AP (cm)	DC (mm)	AP/DC
0	63,72 c*	18,98 <sup>ns</sup>	3,44 b
18	87,10 b	22,12	4,09 b
50	95,70 ab	22,14	4,40 ab
70	107,76 a	21,12	5,23 a
Média	88,57	21,09	4,29
CV (%)	10,50	18,10	11,94

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação.

Para a espécie *Cordia superba* Cham., Souza et al. (2009) verificaram que a altura das plantas não apresentou diferença significativa, quando submetidas ao crescimento em dois ambientes com irradiações contrastantes (pleno sol e sombreamento de 85%), atingindo aos 12 meses de idade a altura média de 1,48 m.

A altura das plantas (AP) de *C. trichotoma* ao longo do tempo apresentou um crescimento linear crescente para todas as intensidades de sombreamento (Figura 6), com maior destaque a partir dos 60 dias após o plantio a campo. Na condição de pleno sol, as plantas apresentaram maior altura até próximo aos 60 dias. Após esse período, as plantas sem sombreamento apresentaram altura inferior àquelas submetidas às condições de menores luminosidades.

Pode-se perceber que esse crescimento apresentou menor expressão dos 120 aos 180 dias, quando comparado com o período dos 60 aos 120 dias. As condições climáticas contribuíram para estes resultados, uma vez que o período compreendido entre os 60 e 120 dias (final de dezembro a final de fevereiro) apresentou as maiores temperaturas médias e precipitações, no entanto, dos 120 aos 180 dias (final de fevereiro a final de abril) tem-se a redução da radiação solar e das temperaturas mínimas e médias (Tabela 7).

Resultado semelhante foi observado por Aimi (2014), ao analisar o crescimento inicial de mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., submetidas aos mesmos níveis de sombreamento a campo (0, 18, 50 e 70%), levando a autora a salientar que o pouco crescimento em altura expresso até os 60 dias, possivelmente refletiu a conversão de reservas e fotoassimilados para as raízes se estabelecerem e, a partir desse período, a tendência da espécie foi apresentar maior crescimento sob sombreamento, resultado que não representou o

estiolamento das plantas, como verificado para as mudas de *C. trichotoma*, tendo em vista o expressivo DC (Tabela 8).

A capacidade das mudas de crescerem rapidamente quando submetidas a ambientes sombreados é um mecanismo importante de adaptação da espécie, sendo uma valiosa estratégia para escapar às condições de baixa intensidade luminosa (SIEBENEICHLER et al., 2008).

Assim, um possível significado ecológico do maior investimento inicial em altura apresentado pela espécie, quando cultivada sob sombra, consistiria em superar mais rapidamente a vegetação concorrente, o que poderia garantir o seu sucesso regenerativo (INOUE; TORRES, 1980).

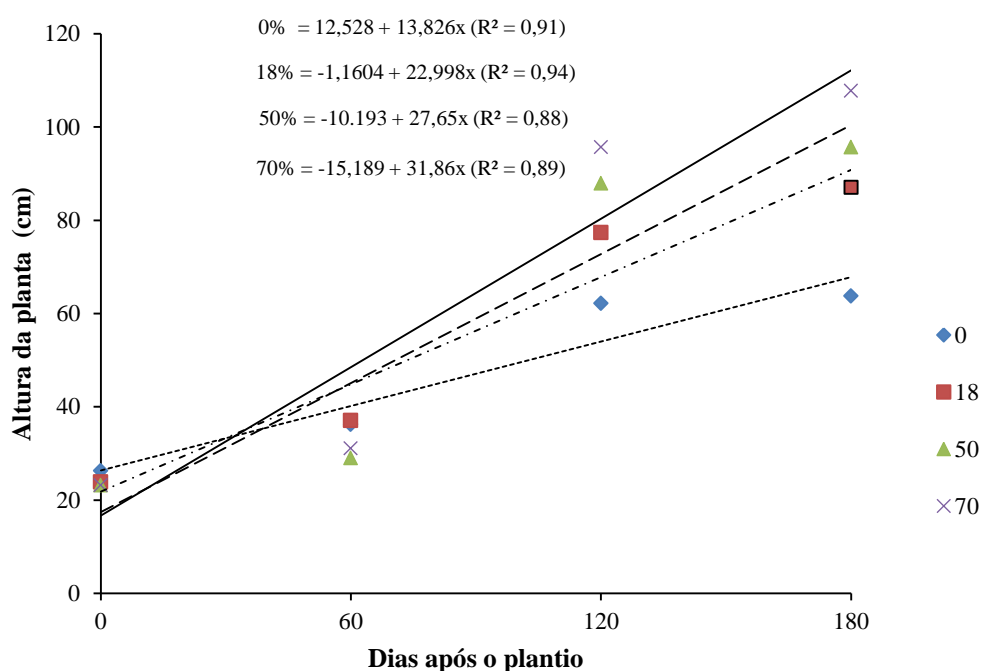


Figura 6 – Crescimento em altura das mudas de *C. trichotoma* submetidas a diferentes níveis de sombreamento (0, 18, 50 e 70%), nos períodos de avaliação do plantio a campo, Santa Maria, RS.

Comportamento semelhante ao observado para o crescimento em altura de *C. trichotoma* foi também verificado por Silva et al. (2007) em mudas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum, por Siebeneichler et al. (2008) em plantas de

*Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Tol. e por Freitas et al. (2012) em plantas de *Sclerolobium paniculatum* Vogel, que apresentaram maior crescimento em altura quando cultivadas em ambiente com 50% de luminosidade, do que em pleno sol ou sob sombra natural.

Este nível de sombreamento (50%) também foi o que apresentou o melhor resultado de crescimento em altura (110,34 cm) para mudas de *Caesalpinia ferrea* ex. Tul. var. *leiostachya* Benth., aos 180 dias após a instalação do experimento, segundo Lenhard (2008), sendo superior ao valor encontrado neste experimento (95,70 cm) no sombreamento de 50%, para *C. trichotoma*. Para mudas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud. e *Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn., Almeida et al. (2005) da mesma forma verificaram que o sombreamento de 50% acarretou no maior crescimento médio em altura.

No entanto, para mudas de *Cabralea canjerana* a maior altura média (45,4 cm), aos 360 dias após o plantio, foi observada no tratamento com 70% de sombreamento e a menor (27,8 cm), nas mudas a pleno sol (AIMI, 2014). Assim como para mudas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., que segundo Poletto et al. (2010), obtiveram melhor crescimento em altura nos maiores níveis de sombreamento testados, chegando a apresentar um incremento de 84% na altura das mudas do menor nível de sombreamento (26%), para o maior nível (95% de sombra). Entretanto, isso não ocorreu em plantas de *Cedrela fissilis* Vell. (SANTOS et al., 2006) e *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos (TONETTO, 2014), que apresentaram maior crescimento em altura a pleno sol, do que quando sob menores irradiâncias.

Estes resultados mostram uma diversidade das espécies florestais quanto ao comportamento em diferentes ambientes, comprovando que a luminosidade pode ser considerada um fator seletivo na definição da comunidade vegetal, durante os estágios sucessionais em áreas sob recuperação (FREITAS et al., 2012).

Em um experimento com *C. trichotoma* a campo em sistema agrossilvipastoril, Radomski et al. (2012) verificaram um crescimento médio em altura das plantas aos dois anos de idade de 1,28 m, pouco superior ao observado neste experimento para as plantas sob 70% de sombreamento (1,08 m), aos seis meses de idade. Os autores concluíram que a ausência de competição entre as árvores pode ter contribuído para o baixo incremento em altura, sugerindo a necessidade de espaçamentos iniciais mais adensados e a adoção de práticas silviculturais como desbaste e manejo de copas, de modo a elevar as taxas de crescimento anuais e, conseqüentemente, aumentar a viabilidade econômica da espécie, neste tipo de consórcio.

Estudo avaliando o desenvolvimento de *C. trichotoma* em populações naturais demonstrou que a espécie apresenta maior crescimento inicial em altura como estratégia para diminuir a concorrência com outras espécies, atingindo mais rapidamente o estrato dominante da floresta e, conseqüentemente, desenvolvendo a copa e ocasionando o crescimento em diâmetro (SCHEEREN et al., 2002).

Com relação ao diâmetro do coleto (DC), a variável apresentou resultados que não diferem estatisticamente entre si, apesar de a menor média ser verificada para as plantas a pleno sol (Tabela 8). O incremento dessa variável ao longo do tempo apresentou comportamento quadrático crescente (Figura 7), modelo igualmente observado por Scheeren et al. (2002), que consideraram ser a função quadrática a que melhor representa o crescimento em diâmetro para *C. trichotoma*. Os resultados indicaram uma tendência de crescimento contínuo até os 180 dias, permitindo inferir que todas as condições luminosas foram adequadas para o crescimento em diâmetro da espécie, ou seja, provavelmente houve uma adaptação da espécie, com alocação de carbono para o caule, o que permitiu um crescimento similar em todos os ambientes. O incremento médio do DC desde o plantio até os 180 dias foi de 15,12 mm, o que representou um crescimento de 253,27%.

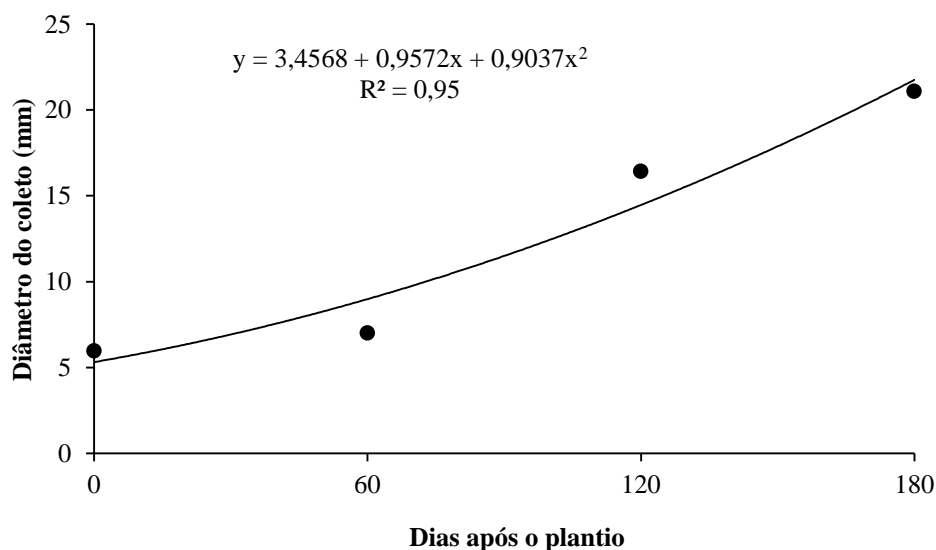


Figura 7 – Crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *C. trichotoma*, nos períodos de avaliação do plantio a campo, Santa Maria, RS.

Em pesquisa sobre o comportamento a campo de *C. trichotoma*, Malavasi e Malavasi (2006) utilizaram no plantio mudas com diâmetro médio do coleto de 2,34 mm e, aos 180 dias após o plantio, as mudas apresentaram 8,88 mm de DC, o que correspondeu a um acréscimo de 279,49% no DC das plantas, pouco superior ao que foi observado neste estudo.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), ocorre um maior acúmulo de fotoassimilados no caule das plantas de algumas espécies expostas a maior luminosidade, em função de uma taxa fotossintética mais elevada. Porém, no caso de *C. trichotoma*, apesar da menor disponibilidade de fotoassimilados para o seu crescimento, uma vez que com o aumento do sombreamento a taxa fotossintética deveria ser mais baixa em relação às plantas cultivadas nos ambientes com maior disponibilidade de luz, não houve redução no diâmetro do coleto das mudas, o que reflete a habilidade de adaptação da espécie às condições de radiação do ambiente.

Espécies como *Maclura tinctoria* e *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* também não apresentaram diferenças significativas para o DC, quando submetidas a 0, 30 e 50% de interceptação da radiação solar incidente (ALMEIDA et al., 2005), assim como Tonetto (2014) não verificou variações no DC em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, submetidas a diferentes sombreamentos (0, 18, 50 e 70%), bem como Silva et al. (2007) avaliando a espécie *Theobroma grandiflorum* não verificaram diferenças no desenvolvimento do coleto das plantas sob 50% de sombreamento, em relação à mudas cultivadas a pleno sol.

Em contrapartida, Almeida et al. (2005), em plantas de *Acacia mangium* Willd., Siebeneichler et al. (2008) com *Tabebuia heptaphylla* e Aguiar et al. (2011) trabalhando com mudas de *Caesalpinia echinata* Lam., verificaram redução no diâmetro do coleto das plantas, com o aumento do sombreamento. No entanto, outros autores verificaram a tendência de maiores diâmetros do coleto, quando as plantas foram submetidas a condições de sombreamento (FREITAS et al., 2012; AIMI, 2014).

Com relação às variáveis AP e DC, apesar da seleção das mudas antes da implantação do experimento para fins de padronização, verificou-se uma grande variabilidade no crescimento dos indivíduos a campo, o que indica a existência de uma variação genética significativa para estes caracteres, corroborando com Freitas et al. (2006) e Radomski et al. (2012).

A relação altura da planta/diâmetro do coleto (AP/DC) apresentou maior valor no tratamento com 70% de sombreamento (Tabela 8), não diferindo significativamente do sombreamento de 50%. Estes resultados mostram que houve maior crescimento em altura do que em diâmetro nas mudas 70% sombreadas. Os valores observados para AP/DC foram



menores do que 10 em todos os tratamentos, o qual, segundo Birchler et al. (1998), é o padrão recomendado para espécies florestais. De acordo com Carneiro (1995) e Gomes e Paiva (2011), quanto menor o valor da relação AP/DC, maior será a capacidade de sobrevivência e estabelecimento das mudas em campo. Portanto, com base nos resultados, os valores obtidos com os tratamentos de 18 e 50% de sombreamento, bem como a pleno sol, revelam maior equilíbrio na relação AP/DC, ou seja, plantas mais resistentes às condições do ambiente.

Resultados semelhantes foram observados por Campos e Uchida (2002) com a espécie *Jacaranda copaia* Aubl. D. Don, aos 245 dias após a repicagem e por Azevedo et al. (2015), com mudas de *Azadirachta indica* A. Juss, após os 100 dias do transplante, que encontraram os maiores valores para a relação AP/DC para mudas submetidas ao sombreamento de 70%. Em plantas de *Caesalpinia echinata*, aos 18 meses de idade, submetidas aos sombreamentos de 60 e 80%, foram observados maiores valores da relação AP/DC, mostrando maior crescimento em altura em detrimento do diâmetro do coleto (AGUIAR et al., 2011), fato também observado por Silva et al. (2007) para a espécie *Theobroma grandiflorum*, que a partir dos 124 dias após a emergência, obteve a maior relação AP/DC no nível de sombreamento de 50%.

Para mudas de *Cabralea canjerana*, Aimi (2014) observou valores de AP/DC próximos em todos os tratamentos, os quais variaram entre 2 e 3, salientando que, em qualquer uma das situações, os valores são considerados adequados, indicando que a planta tem alocação de fotoassimilados de forma equilibrada para a parte aérea e para a base (DC).

O diâmetro de copa (DCOPA) das plantas de *C. trichotoma* aos 180 dias não diferiu estatisticamente nos sombreamentos de 18, 50 e 70%, sendo observado a pleno sol o menor valor (Tabela 9), assim como para as variáveis área horizontal da copa (AHC) e comprimento médio dos ramos (CMR), uma vez que estas variáveis estão diretamente relacionadas com o DCOPA. No entanto, o número de ramos (NR) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Ao longo do experimento, indiferente ao tratamento, o hábito de crescimento das plantas manteve o padrão descrito por Carvalho (1994), como sendo monopodial quando jovem, com inserção dos galhos a intervalos regulares (pseudo-verticilos), com três a cinco ramos saindo da mesma altura do tronco (Apêndice 16).

A determinação do diâmetro de copa das espécies é de fundamental importância, segundo Roman, Bressan e Durlo (2009), pois permite prever a projeção do espaço a ser reservado à árvore para o seu bom desenvolvimento e, para *C. trichotoma*, com o aumento do

diâmetro do tronco, as taxas de aumento de diâmetro de copa tendem a superar as taxas de crescimento em altura da árvore.

Tabela 9 – Diâmetro da copa (DCOPA), área horizontal da copa (AHC), número de ramos (NR), comprimento médio dos ramos (CMR), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	DCOPA (cm)	AHC (cm <sup>2</sup> )	NR	CMR (cm)	NF	AF (cm <sup>2</sup> )
0	60,75 b*	3297,1 b	5,5 <sup>ns</sup>	22,33 b	129,25 b	1548,26 b
18	81,88 ab	5594,2 ab	6,0	37,87 ab	244,75 ab	5220,70 a
50	94,88 ab	7419,8 ab	5,3	48,15 a	299,75 ab	4287,24 ab
70	103,88 a	9134,6 a	6,8	47,55 a	435,00 a	7008,89 a
Média	85,34	6361,65	5,8	38,97	277,19	4516,27
CV (%)	19,52	37,74	19,00	20,94	40,33	29,22

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação.

Na análise de arquitetura das plantas de *Cordia superba*, Souza et al. (2009) detectaram diferenças estatísticas em vários parâmetros analisados entre o pleno sol e sombra (85%), entre eles o número de folhas (NF) e o comprimento médio dos ramos (CMR), porém, para estas duas variáveis, os autores observaram os maiores valores para plantas expostas ao ambiente de sol, diferindo do observado neste trabalho. No entanto, para o NR, Souza et al. (2009), também não observaram diferença significativa, corroborando com o resultado encontrado neste estudo.

Alterações na morfologia de plantas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em condições de sombreamento (90%) e pleno sol em viveiro foram observadas por Franco e Dillenburg (2007), em que ao final do experimento, plantas sombreadas apresentaram, entre outros parâmetros analisados, menor ramificação. Esta alteração morfológica foi interpretada como uma resposta fenotípica adaptativa, vindo a contribuir para a relatada tolerância da espécie ao sombreamento.

Copas mais largas (maior AHC) e ramos mais longos (maior CMR) foram observados por Batista (2011), em três espécies florestais de sub-bosque, quando comparados com os valores encontrados para estes descritores arquiteturais em três espécies pertencentes ao dossel/emergentes. Segundo o autor, estas observações estão de acordo com a hipótese de que os indivíduos pertencentes ao estrato inferior apresentam menor plasticidade para alterar a estrutura da copa, do que aqueles do estrato superior (BATISTA, 2011).

O número de folhas (NF) não foi influenciado pelos níveis de sombreamento (18, 50 e 70%), pois os resultados não diferiram entre estes, sendo que o menor valor de NF foi verificado nas plantas a pleno sol (Tabela 9). Estes resultados influenciaram diretamente a área foliar (AF), em que a maior média foi constatada no tratamento de 70% de sombreamento, que não diferiu estatisticamente dos demais sombreamentos e, a menor média, ocorreu no tratamento a pleno sol. Portanto, as plantas submetidas à menor irradiância, apresentaram não só um maior NF, mas também folhas com maiores dimensões, verificado pelo maior valor de AF. No Apêndice 17 é possível observar a forma e as dimensões apresentadas por folhas de plantas de *C. trichotoma* submetidas ao sombreamento de 70%.

Em relação à AF, considerando-se que a alteração deste parâmetro é um mecanismo para compensar as baixas intensidades luminosas, a menor AF em plantas cultivadas a pleno sol, pode indicar a falta de adaptação da espécie, para ambientes com maior insolação (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006). Desta maneira, em relação a esta variável, a espécie *C. trichotoma* provavelmente apresenta um padrão de crescimento secundário inicial, que necessita de sombreamento na fase inicial do desenvolvimento, corroborando com o que afirmam Vaccaro, Longhi e Brena (1999).

Um maior NF e de AF foram observados em plantas de *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg. e *Sorocea bonplandii* (Baill.) W. C. Burger, Lanj. & de Boer, espécies arbóreas de sub-bosque que, segundo Batista (2011), são mais tolerantes à sombra e tendem a investir mais recursos nestas variáveis, maximizando a interceptação de luz. Esta situação foi da mesma forma observada no presente estudo, apesar de *C. trichotoma* não ser espécie de sub-bosque, o que indica a eficiência da espécie em modificar a parte aérea, viabilizando seu estabelecimento. Para mudas de *Ilex paraguariensis* houve um incremento no NF de 89% do menor (26%) para o maior nível (95%) de sombreamento testado (POLETTTO et al., 2010).

Uma maior expansão das folhas de *Caesalpinia echinata* nos locais sombreados, quando comparado com a das folhas cultivadas sob pleno sol, foi observada por Aguiar et al. (2011), corroborando com o que foi verificado para *C. trichotoma*, porém, a maior quantidade de folhas foi obtida em mudas mantidas sob pleno sol, enquanto os níveis de 60 a 80% de sombreamento apresentaram os menores valores, diferindo dos resultados deste estudo. As folhas das plantas a pleno sol se apresentaram menores e mais espessas, enquanto as das plantas cultivadas em condições de sombreamento eram mais delgadas e menos ramificadas do que as crescidas no pleno sol, indicando, segundo os autores, a existência de plasticidade nas folhas da espécie, adaptando-se às diferentes condições de sombreamento. Folhas menores e mais espessas foram da mesma forma observadas por Portela (2012), em plantas de

*Cariniana estrellensis* (Raddi.) Kuntze, com 12 meses de idade, submetidas a 70% e 100% de irradiância.

Uma menor AF foi observada em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* submetidas ao sombreamento de 90%, por Franco e Dillenburg (2007), quando comparadas com plantas a pleno sol, sendo que esta menor AF foi causada por redução no NF e não na área individual das mesmas, discordando com o que foi observado nesta pesquisa.

As plantas de *C. trichotoma* submetidas ao sombreamento de 70% investiram na maximização da parte aérea e maximização da captação de luz. Segundo Leong (1980), a eficiência fotossintética das plantas depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador.

Alterações no número de folhas afetam diretamente a taxa fotossintética da planta, bem como a distribuição de fotoassimilados. De acordo com Caron et al. (2010), o sombreamento artificial pode afetar positivamente a taxa de crescimento e qualidade da muda, com efeitos distintos, conforme o grupo ecológico da espécie.

Para o parâmetro AF total, Souza et al. (2009) não verificaram diferença significativa para as plantas de *C. superba*, quando os resultados foram comparados entre os dois ambientes do experimento (pleno sol e sombreamento de 85%), divergindo do que foi observado para *C. trichotoma*, que apresentou diferença entre os tratamentos. As divergências observadas entre as espécies podem ser explicadas pelas mesmas não pertencerem ao mesmo grupo sucessional, ou seja, *C. superba* é considerada uma espécie pioneira (SOUZA et al., 2009), enquanto *C. trichotoma* é considerada uma espécie secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999), com tendência a pioneira (CARVALHO, 1994).

Segundo Vieira et al. (2013) as características do grupo ecológico ao qual a espécie está inserida revelam a sua capacidade de aclimatação, ou seja, a habilidade em tolerar e responder de forma relativamente rápida às alterações do meio, seja como forma de maximizar o seu aproveitamento e/ou garantir a sua permanência no ambiente.

O maior valor de massa seca foliar (MSF) verificado no tratamento de 70% de sombreamento não diferiu do tratamento de 18% (Tabela 10), porém com relação à massa seca de caule e ramos (MSCR) e massa seca da parte aérea (MSPA), os resultados observados para o tratamento de 70% não diferiram dos demais sombreamentos, com os menores valores sendo verificados a pleno sol. As menores médias de massa seca observadas no tratamento a pleno sol, sob maior radiação fotossinteticamente ativa, é consequência da menor altura média

da parte aérea (Tabela 8), do menor número de folhas e da menor área foliar das plantas (Tabela 9).

Tabela 10 – Massa seca foliar (MSF), massa seca de caule e ramos (MSCR) e massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	MSF (g)	MSCR (g)	MSPA (g)
0	15,06 c*	26,49 b	41,56 b
18	32,57 ab	49,77 ab	82,34 ab
50	22,34 bc	52,96 ab	75,29 ab
70	36,08 a	86,05 a	122,13 a
Média	26,51	53,82	80,33
CV (%)	20,90	32,53	28,01

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de variação.

Estes resultados divergem do que afirmam Gomes e Paiva (2011), que na produção de mudas de espécies florestais sob sombreamento, ocorre diminuição da produção de massa seca, na medida em que são aumentados os níveis de sombreamento.

Pode-se observar que, apesar do tratamento com 18% de sombreamento ter apresentado menor NF e AF, quando comparado ao tratamento de 70% (Tabela 9), a MSF não apresentou diferença com relação a este último, o que sugere que as folhas no tratamento de 18% apresentavam-se mais espessas, ou seja, com maior acúmulo de biomassa. Este fato também foi observado em mudas de *Croton urucurana* Baill. sob sombreamento, em que embora a AF tenha sido maior sob sombreamento, a MSPA não acompanhou esse aumento, indicando que as folhas maiores, resultantes do maior sombreamento, eram menos espessas, como observado para a maioria das plantas nessa condição (SCALON et al., 2008).

Outro aspecto também possível de ser salientado é que as mudas de *C. trichotoma* submetidas aos tratamentos de 50 e 70% de sombreamento, alocaram cerca de 70% de sua biomassa da parte aérea nos caules e ramos e 30% nas folhas, quando comparados com os resultados dos tratamentos de 0 e 18% de sombreamento, que alocaram cerca de 62% nos caules e ramos e 38% nas folhas (Tabela 10).

A maior alocação de carbono para o caule ocorre quando a planta é submetida a condições inadequadas ao seu crescimento, sendo uma estratégia comum de escape ao sombreamento (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006), fato observado neste estudo, em

que os ambientes mais sombreados produziram maior taxa de crescimento, indicando também a adaptação de *C. trichotoma* a estes ambientes.

De acordo com Lee et al. (1996), mudanças nas propriedades de assimilação de carbono pelas folhas, envolvendo ajustes fisiológicos e morfológicos e alterações nas características das folhas relacionadas à fotossíntese, como o aumento da massa foliar, resultante da maior espessura das folhas, é um dos caminhos utilizados para a aclimação de plantas à quantidade de luz fotossinteticamente ativa incidente, ocorrendo no sentido de maximizar o ganho total de carbono.

A tendência de decréscimo para os valores de massa seca aérea com o nível do sombreamento de 70% foi observada em mudas de *Hymenaea courbaril* L. (CAMPOS; UCHIDA, 2002) e de *Azadirachta indica* (AZEVEDO et al., 2015). Assim como Almeida et al. (2005) constaram que para *Acacia mangium*, ocorreu maior acúmulo de massa seca foliar a pleno sol, do que a 30 e 50% de sombreamento, os quais não verificaram diferenças entre as respostas de plantas de *Maclura tinctoria*, *Senna macranthera*, *Hymenaea courbaril* e *Acacia mangium* a pleno sol, a 30 e 50% de sombreamento, quanto à massa seca de caules e ramos, diferente do que foi observado para *C. trichotoma*.

Para mudas de *Caesalpinia echinata* o maior valor médio observado de massa seca da parte aérea foi obtido em plantas cultivadas sob condições de alta luminosidade (0% de sombreamento), quando comparadas às submetidas aos diferentes níveis de sombreamento (20, 40, 60 e 80%) o que, segundo Aguiar et al. (2011), estaria relacionado com a maior quantidade de folhas e, portanto, com maior atividade fotossintética, fixação de carbono e aumento de massa. Segundo Oliveira e Gualtieri (2011), o maior acúmulo de matéria seca em plantas crescidas em ambientes menos sombreados, demonstra que a espécie é mais adaptada a ambientes de maior intensidade luminosa, em situações encontradas no início do processo sucessional.

Os parâmetros comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos de sombreamento, quando analisado no perfil horizontal, nas distâncias de 0,10 e 0,20 m do caule das plantas e vertical nas três profundidades de obtenção das amostras (0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) (Tabela 11). Na distância de 0,30 m verificou-se diferença significativa no volume de raízes (VR) nas amostras obtidas na profundidade de 0,10 a 0,20 m, em que a maior média (1,7 mL dm<sup>-3</sup>) foi obtida no sombreamento de 18%, diferindo das demais, assim como para a densidade de raízes (DR), cuja maior média foi verificada no tratamento com 18% de sombreamento (0,1020 g dm<sup>-3</sup>), que não diferiu do tratamento a pleno sol, ambos diferindo do encontrado para os níveis de 50 e 70% de sombreamento.

Provavelmente, devido aos altos valores de coeficiente de variação verificados em determinadas distâncias e profundidades de obtenção das amostras de raízes, as variáveis analisadas não apresentaram diferença estatística entre os níveis de sombreamento, apesar da grande variação observada nos resultados.

Na camada de 0,00-0,10 m, com exceção do tratamento de 18% de sombreamento, os maiores valores de VR, CR e DR foram observados na distância de 0,10 m, ou seja, mais próximo do caule das plantas.

Conforme esperado, observa-se na Tabela 11, a tendência de decréscimo do volume, comprimento e densidade de raiz com o aumento da distância do caule das plantas, porém houve oscilação quando se trata de profundidade, principalmente quando se analisa entre 10 e 20 cm. Esses resultados permitem inferir sobre dois aspectos: o primeiro é que a adubação na projeção da copa (Tabela 9) é eficiente, mas que a resposta mais rápida para nutrientes facilmente lixiviados ocorrerá com a aplicação até 20 cm da projeção da copa (Tabela 11), onde ocorre a maior concentração de raízes; o segundo é que sob 18% de sombreamento ocorre expressiva concentração de raízes até 30 cm de distância do caule, podendo-se evidenciar considerável volume de raízes finas, inclusive de 10-20 cm de profundidade (CR=100,724; DR=0,1020) (Tabela 11). Assim, sob um sombreamento dessa intensidade a absorção de nutrientes disponibilizados pela adubação ocorrerá em área mais ampla.

No geral, presença do sistema radicular foi uniforme, ao longo das profundidades analisadas em todos os tratamentos, fato não corroborado por Paulus (2015), que observou uma redução da presença de raízes finas na camada de 0,20-0,30 m, sendo que o autor destaca que pode ter ocorrido pela menor aeração e disponibilidade de nutrientes nas camadas de solo mais profundas e fora da área da cova de implantação das mudas de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch, aos dois anos de idade.

Nos estágios iniciais de crescimento de um povoamento, quando ainda não ocorre a presença da serapilheira, Gonçalves e Mello (2005) salientam que o crescimento de raízes finas ocorre em profundidades maiores, em decorrência dos efeitos adversos da radiação solar direta sobre a superfície exposta do solo.

Estudos com espécies florestais mostraram que a maior quantidade de raízes finas encontra-se mais superficialmente no solo, em função da presença de nutrientes e pelas características físicas do solo que, às vezes, oferecem impedimentos para o desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas, mas apesar deste fato, a distribuição de raízes no perfil do solo é muito variável entre as espécies vegetais, como por exemplo, espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam maior densidade de raízes nas camadas superficiais do solo, do que espécies do gênero *Pinus* (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Tabela 11 – Volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) das amostras de solo e raízes obtidas na área de plantio de mudas de *C. trichotoma* em função dos níveis de sombreamento, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	VR	CR	DR	VR	CR	DR	VR	CR	DR	TOTAL		
	(mL dm <sup>-3</sup> )	(cm dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mL dm <sup>-3</sup> )	(cm dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mL dm <sup>-3</sup> )	(cm dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	VR	CR	DR
	Distância de 0,10 m			Distância de 0,20 m			Distância de 0,30 m					
Profundidade de 0,00 – 0,10 m												
0	2,400 <sup>ns</sup>	253,569 <sup>ns</sup>	0,3223 <sup>ns</sup>	1,100 <sup>ns</sup>	167,513 <sup>ns</sup>	0,1647 <sup>ns</sup>	0,684 <sup>ns</sup>	94,404 <sup>ns</sup>	0,065 <sup>ns</sup>	4,184	515,546	0,5521
18	1,273	160,127	0,1593	1,500	152,891	0,1651	0,991	131,371	0,0580	3,764	444,389	0,3824
50	1,600	252,400	0,1433	1,300	185,637	0,0880	0,977	126,277	0,0553	3,877	564,314	0,2866
70	2,967	383,869	0,4016	2,267	231,384	0,1937	1,233	216,700	0,0780	6,467	831,953	0,6733
Média	2,06	262,491	0,2566	1,542	184,356	0,1529	0,9713	142,188	0,0641	-	-	-
CV (%)	58,50	64,29	35,70	41,48	53,96	56,13	41,65	54,44	40,49	-	-	-
Profundidade de 0,10 – 0,20 m												
0	0,578 <sup>ns</sup>	125,137 <sup>ns</sup>	0,1609 <sup>ns</sup>	0,800 <sup>ns</sup>	113,964 <sup>ns</sup>	0,054 <sup>ns</sup>	0,743 ab*	83,267 <sup>ns</sup>	0,0713 a	2,121	322,368	0,2866
18	1,022	172,413	0,0880	1,500	168,320	0,1100	1,700 a	100,724	0,1020 a	4,222	441,457	0,3000
50	1,200	202,543	0,1013	1,011	117,397	0,0580	0,403 b	43,051	0,0213 b	2,614	362,991	0,1806
70	1,422	238,813	0,1129	1,000	114,011	0,0877	0,700 ab	43,977	0,0204 b	3,122	396,801	0,2210
Média	1,056	184,727	0,1158	1,078	128,423	0,0500	0,887	67,755	0,0538	-	-	-
CV (%)	28,67	27,39	23,64	66,55	46,75	42,95	37,22	52,87	45,31	-	-	-
Profundidade de 0,20 – 0,30 m												
0	1,333 <sup>ns</sup>	186,716 <sup>ns</sup>	0,1847 <sup>ns</sup>	0,733 <sup>ns</sup>	106,757 <sup>ns</sup>	0,0504 <sup>ns</sup>	0,770 <sup>ns</sup>	100,413 <sup>ns</sup>	0,0411 <sup>ns</sup>	2,836	393,886	0,2762
18	1,933	190,044	0,2456	0,867	116,033	0,0671	2,000	118,117	0,0813	4,800	424,590	0,3940
50	2,111	391,897	0,1597	1,124	149,313	0,0700	0,513	50,997	0,0293	3,704	592,207	0,2590
70	2,067	407,820	0,2191	1,133	114,937	0,0684	0,567	71,611	0,0304	3,811	594,368	0,3179
Média	1,861	294,119	0,2023	0,964	121,760	0,0640	0,963	82,284	0,0455	-	-	-
CV (%)	54,88	48,96	28,57	55,43	18,46	34,88	59,82	60,65	42,86	-	-	-

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. \* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.



Em um povoamento de *Pinus taeda* L., com 15 anos de idade, Lopes et al. (2010) observaram que a maior densidade de raízes finas estava concentrada na camada de serapilheira e no solo até 10 cm de profundidade, perfazendo 62,59%. Nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, Behling et al. (2014) verificaram a concentração de 56,2% das raízes finas (menor que 2 mm), 44,4% das raízes médias (2 a 5 mm) e 57,4% do comprimento total de raízes finas, em um povoamento de *Tectona grandis* L. f., aos 8 anos de idade e, 88% da biomassa de raízes grossas (maior que 5 mm) se encontrava na camada superficial do solo (0-30 cm).

Ceconi et al. (2008) verificaram que a maior parte da biomassa (86,78%), bem como 86,59% do comprimento total de raízes finas estava concentrada nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, em um plantio de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

A densidade de raízes está diretamente relacionada com a massa seca radicular. Níveis maiores de sombreamento provocaram redução na massa seca das raízes de mudas de *Hymenaea courbaril* L. (CAMPOS; UCHIDA, 2002), resultado do mesmo modo observado em mudas de *Clitoria fairchildiana*, que apresentaram maior incremento na massa seca de raízes, quando expostas a pleno sol (PORTELA; SILVA; PINÃ-RODRIGUES, 2001), refletindo, assim, segundo os autores, em uma estratégia de acúmulo de matéria seca na raiz, mas não em detrimento do crescimento da parte aérea, pois a maior altura foi encontrada também a pleno sol.

Para mudas de *Caesalpinia echinata*, Aguiar et al. (2011) observaram que a plena luminosidade provocou o aumento da massa seca radicular, assim como o aumento dos níveis de sombreamento acarretou no decréscimo da quantidade de massa seca de raízes, fato da mesma forma constatado por Azevedo et al. (2015) com mudas de *Azadirachta indica*, que quando produzidas a pleno sol, apresentaram a maior média para massa seca das raízes.

No entanto, Caron et al. (2010) avaliando o crescimento de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento de 0, 30, 50 e 70%, observaram que a matéria seca radicular não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

O aumento no crescimento do sistema radicular de plantas expostas a pleno sol pode ser resultado da necessidade das mudas absorverem maiores quantidades de água, por causa da maior transpiração e ressecamento do solo (CAMPOS; UCHIDA, 2002), o que explicaria os resultados observados nesta pesquisa de não ter havido diferenças significativas no crescimento do sistema radicular das mudas no geral, apesar do sombreamento ter influenciado na produção da biomassa aérea das plantas.

Segundo Gonçalves e Mello (2005), o comprimento de raízes é considerado um dos melhores parâmetros para estudos relativos à absorção de água e nutrientes. Semelhante ao que foi observado nesta pesquisa com relação a esta variável, Portela, Silva e Pinã-Rodrigues (2001) verificaram que mudas da espécie *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub não sofreram influência dos tratamentos (0, 30, 50 e 75% de sombreamento) sobre o CR.

Na Tabela 12 pode-se observar que não ocorreram diferenças significativas para as variáveis VR, CR e DR nos resultados do total das amostras de raízes obtidas nas três profundidades ao longo do perfil, bem como nas três distâncias em relação ao caule das plantas.

Tabela 12 – Volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR) e densidade de raízes (DR) de *C. trichotoma* em diferentes níveis de sombreamento no total das amostras (0 a 30 cm de profundidade), aos 180 dias após plantio, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	VR (mL)	CR (cm)	DR (g)
0	8,997 <sup>ns</sup>	1200,458 <sup>ns</sup>	1,0742 <sup>ns</sup>
18	12,524	1266,933	1,0434
50	9,940	1468,873	0,7012
70	13,000	1763,418	1,1837
Média	11,120	1424,920	1,0000
CV (%)	31,21	31,90	43,05

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação.

Resultado diferente foi observado por Poletto et al. (2010) em mudas de *Ilex paraguariensis*, que apresentaram maior produção de biomassa seca radicular nos maiores níveis de sombreamento testados (84 e 95%), assim como de outros parâmetros morfológicos, o que, segundo os autores, corrobora com o fato desta espécie ser classificada como clímax, ambientalmente adaptada ao interior de florestas, tolerante ao sombreamento inicial, podendo desenvolver-se sob dossel fechado e com pouca luz.

Almeida et al. (2005) verificaram que plantas de *Maclura tinctoria* e *Acacia mangium* a pleno sol produziram mais massa seca de raízes do que em condições sombreadas (30 e 50%).

O crescimento de raízes pode ocorrer independentemente da parte aérea (GONÇALVES; MELLO, 2005), o que explica a semelhança do crescimento radicular entre os tratamentos, apesar das variações de crescimento em altura, arquiteturas e de biomassa da parte aérea das plantas de *C. trichotoma*.

Em função dos resultados obtidos de volume, comprimento e densidade de raízes, com base na metodologia utilizada de avaliação do sistema radicular das mudas de *C. trichotoma*, pode-se considerar que os ambientes com diferentes incidências de luminosidade pouco interferiram no crescimento do sistema radicular das plantas.

Portanto, as respostas morfológicas verificadas em mudas de *C. trichotoma*, relacionadas à utilização da luz nas diferentes condições de luminosidade testadas, evidenciaram diferentes estratégias de crescimento, demonstrando a capacidade da espécie em se aclimatar a ambientes sombreados, indicando o potencial de plasticidade fenotípica e a grande capacidade adaptativa na fase inicial de seu desenvolvimento a campo, características determinantes para a sobrevivência da espécie.

#### 4.5.2 Variáveis fisiológicas

##### 4.5.2.1 Pigmentos fotossintéticos

A análise de variância dos dados dos pigmentos fotossintéticos obtidos aos 90 e 180 dias, demonstrou que não houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os níveis de sombreamento e o tempo, nem influência significativa do sombreamento sobre as variáveis analisadas. Houve efeito significativo somente para o fator tempo nas variáveis clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total) e carotenoides. Para a relação clorofila *a*/clorofila *b* (Chl *a*/Chl *b*) não houve efeito significativo de nenhum fator considerado na análise (Apêndice 18).

Avaliando os teores dos pigmentos fotossintéticos observa-se que os resultados não diferiram entre os tratamentos (Tabela 13). Com exceção da relação Chl *a*/Chl *b*, observaram-se diferenças aos 90 e 180 dias após o plantio (d.a.p.), nos teores de clorofila e de carotenoides, que tiveram aumento da primeira para a segunda avaliação, para todos os tratamentos (Tabela 13).

A primeira avaliação, feita aos 90 d.a.p., coincidiu com o período do verão, e a segunda avaliação (180 d.a.p.) no período do outono, época com as menores temperaturas mínimas, médias e menor incidência de radiação (Tabela 7), características que, em função dos resultados observados dos teores dos pigmentos fotossintéticos nas mudas de *C.*

*trichotoma*, favoreceram a síntese de clorofilas a pleno sol e em todos os níveis de sombreamento testados. Resultados semelhantes foram observados por Atroch et al. (2001) em plantas jovens de *Bauhinia forficata* Link., que apresentaram os teores mais elevados de Chl total no período com temperaturas mais baixas e chuvas mais escassas, quando comparados com os resultados da época mais chuvosa, com temperaturas elevadas.

Tabela 13 – Teor de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total), relação clorofila *a*/clorofila *b* (Chl *a*/Chl *b*) e carotenoides em mudas de *C. trichotoma* em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	Chl <i>a</i> (mg g <sup>-1</sup> MF)		Chl <i>b</i> (mg g <sup>-1</sup> MF)		Chl total (mg g <sup>-1</sup> MF)		Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i>		Carotenoides (mg g <sup>-1</sup> MF)	
	Dias após o plantio									
	90	180	90	180	90	180	90	180	90	180
0	0,96 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>ns</sup>	3,51 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
18	0,90	1,16	0,25	0,33	1,15	1,48	3,57	3,57	0,32	0,40
50	0,90	1,28	0,25	0,35	1,15	1,63	3,54	3,64	0,31	0,41
70	1,00	1,39	0,30	0,41	1,30	1,80	3,43	3,46	0,33	0,43
Média	0,94 b*	1,28 a	0,27 b	0,37 a	1,21 b	1,65 a	3,53 a	3,55 a	0,32 b	0,42 a

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade de erro. MF = massa fresca em g.

Diferenças nos resultados dos pigmentos fotossintéticos em dois períodos de avaliação foram da mesma forma observados por Aimi (2014), em mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., bem como por Tonetto (2014), em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, sendo que no geral, os maiores valores foram observados aos 360 d.a.p. (período de inverno), quando comparados com os valores obtidos aos 180 d.a.p. (período do verão).

A determinação dos teores de pigmentos fotossintéticos como inferência à ação da luminosidade sobre caracteres fisiológicos em plantas é importante, uma vez que as alterações na disponibilidade de radiação solar em um ambiente podem influenciar na quantidade de clorofila total, assim como na relação Chl *a*/Chl *b* (SOUZA et al., 2011).

A elevação dos teores de clorofila nas folhas, especialmente de Chl *b*, aumenta a capacidade de absorção de luz, de diferentes comprimentos de onda nos picos da fotossíntese, tal como a luz na faixa do azul, presente em grande quantidade em locais sombreados (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Larcher (2006) as folhas de sombra possuem concentração maior de clorofila do que as folhas de sol, uma vez que o acúmulo de clorofila total em folhas sombreadas está relacionado com a pequena quantidade de luz disponível neste ambiente e a absorção deste recurso depende da concentração de pigmentos fotossintéticos. Maiores concentrações de clorofila nos níveis de sombreamento mais altos proporcionados para mudas de *C. trichotoma* não foram observados neste estudo. Discordando destes resultados, Souza et al. (2009) verificaram em plantas de *Cordia superba* com 12 meses de idade, crescidas em ambiente com 85% de sombreamento, concentrações de clorofila 2,5 vezes mais altas do que plantas crescidas a pleno sol.

Da mesma forma, um incremento nos teores de clorofila em folhas de plantas de *Croton urucurana* submetidas a 50 e 70% de sombreamento foram verificados por Alvarenga et al. (2003), assim como Lima et al. (2011) que observaram uma maior concentração de Chl *a* (1,5 mg g<sup>-1</sup> MF), Chl *b* (0,6 mg g<sup>-1</sup> MF) e Chl total (2,1 mg g<sup>-1</sup> MF) em folhas de *Achillea millefolium* L. submetidas a 75% de sombreamento durante o período vegetativo, quando comparadas com as crescidas a pleno sol concluindo que, como o sombreamento estimulou a síntese de clorofilas, a espécie possui adaptação à baixa intensidade luminosa, devido à maior síntese de pigmentos fotossintéticos.

Sob sombreamento foram observados maiores teores de Chl total por Atroch et al. (2001) para a espécie *Bauhinia forficata*; Mota, Scalon e Heinz (2012) para *Dipteryx alata*; Scalon et al. (2008) para *Croton urucurana* Baill.. Dutra, Massad e Santana (2012) verificaram para *Copaifera langsdorffii* Desf. maiores teores de Chl *b* e Chl total, quando submetida a sombreamento.

Da mesma forma, maiores conteúdos foliares totais de clorofila em plantas de *Araucaria angustifolia* em condições de sombreamento foram verificados por Franco e Dillenburg (2007), sendo essa alteração fisiológica interpretada como um dos ajustes para uma absorção mais eficiente de luz, devendo contribuir para a relatada tolerância da espécie ao sombreamento.

Maiores valores de Chl *a*, Chl *b* e Chl total foram observados por Lima Junior et al. (2005), em plantas jovens de *Cupania vernalis* Cambess., submetidas a 50 e 70% de sombreamento, em relação aos demais níveis de irradiância. A concentração de Chl *b* foi menor em plantas cultivadas a pleno sol, segundo os autores, devido a processos fotooxidativos, favorecendo assim uma maior relação Chl *a*/Chl *b*.

O acréscimo do nível do sombreamento provocou uma menor relação Chl *a*/Chl *b* e aumento nas concentrações de Chl total e carotenoides em plantas de *Hymenaea courbaril* L.

var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (LIMA; ZANELLA; CASTRO, 2010).

Em mudas de *Cabralea canjerana*, Aimi (2014) observou diferenças nas respostas dos pigmentos fotossintéticos em função do sombreamento, sendo que os maiores valores de Chl *a* (1,804 mg g<sup>-1</sup> MF), Chl *b* (0,426 mg g<sup>-1</sup> MF), Chl total (2,230 mg g<sup>-1</sup> MF), relação Chl *a*/Chl *b* (4,239), assim como carotenoides (0,460 mg g<sup>-1</sup> MF), aos 180 d.a.p. a campo, ocorreram no sombreamento de 50%, sendo considerada como a melhor condição de crescimento oferecida à espécie. Enquanto Tonetto (2014) verificou que os maiores valores de Chl total (1,86 mg g<sup>-1</sup> MF) e carotenoides (0,48 mg g<sup>-1</sup> MF) foram obtidos no sombreamento de 18%, em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, aos 180 d.a.p. a campo. Pode-se perceber que nestas duas pesquisas, em todas as variáveis, os valores foram superiores aos maiores teores observados para as mudas de *C. trichotoma*, aos 180 d.a.p., fator que sugere que a espécie tem sua adaptação mediada por características morfológicas.

Resultados semelhantes ao observado neste estudo com relação aos teores de Chl *a* e Chl *b* foram verificados por Scalón et al. (2003) em plantas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns, em que o conteúdo de Chl *a* e Chl *b* não variou com os níveis de sombreamento (0, 30 e 50%), porém o conteúdo de Chl total foi maior em 50% de sombra e menor em pleno sol, bem como a relação Chl *a*/Chl *b* foi significativamente menor nas plantas a 50% de sombreamento, provavelmente, segundo os autores, devido ao maior teor de Chl *b* presente nessas mudas. O aumento da proporção de Chl *b* é uma característica importante de ambientes sombreados, porque esta capta energia de outros comprimentos de onda e a transfere para a Chl *a*, que efetivamente atua nas reações fotoquímicas da fotossíntese e representa um mecanismo de adaptação à condição de menor intensidade luminosa (SCALÓN et al., 2003).

Para a relação Chl *a*/Chl *b* não ocorreu diferença entre as avaliações realizadas aos 90 e 180 d.a.p., fato igualmente observado por Atroch et al. (2001) em plantas jovens de *Bauhinia forficata*, que na época úmida não apresentaram diferenças nos valores da relação Chl *a*/Chl *b* nas plantas expostas a pleno sol, quando comparadas com as plantas crescidas a 30 e 50% de sombreamento.

Com base nestes resultados de pesquisas apresentados, pode-se perceber que a espécie *C. trichotoma* diferiu das respostas, não apresentando variação nos teores de pigmentos fotossintéticos em função dos diferentes níveis de sombreamento em que as plantas foram submetidas. Este fato pode significar que as plantas de *C. trichotoma* na menor intensidade de luz tenham desenvolvido mecanismos de adaptação, para aproveitar a reduzida luminosidade

disponível sob o sombreamento. Dentre estes mecanismos, o aumento do número de folhas e da área foliar (Tabela 9) pode ser destacado para a espécie.

Desta forma, como nos resultados apresentados pelos pigmentos fotossintéticos não foram observadas diferenças entre os tratamentos utilizados, apenas entre os períodos de avaliação do experimento, fica evidenciado que a adaptação da espécie *C. trichotoma* ocorre por meio das mudanças morfológicas da parte aérea e não por alteração nos teores dos pigmentos fotossintéticos, para compensar a luminosidade reduzida dos maiores sombreamentos.

#### 4.5.2.2 Fluorescência da clorofila *a*

A análise fisiológica das variáveis associadas à fluorescência da clorofila *a* realizadas aos 90 e 180 dias, apresentou diferenças com relação ao tempo entre os níveis de sombreamento para a fluorescência inicial da clorofila *a* ( $F_0$ ), para o rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e para a taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ), a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ) e, com relação aos tratamentos (sombreamentos), apenas para a  $ETR$ . Não houve interação entre os tratamentos (sombreamentos) e o tempo de avaliação para as três variáveis analisadas (Apêndice 18).

A análise de  $F_0$  não indicou diferenças entre os tratamentos nos dois períodos de avaliação, somente com relação ao tempo de avaliação (Tabela 14). Quanto menores os valores de  $F_0$ , melhor para as plantas, pois na ausência de luz, o aparato fotossintético de uma planta que não esteja sob condição de estresse encontra-se totalmente oxidado (PRADO; CASALI, 2006). Este resultado indica que a maior quantidade de energia está sendo destinada à fotoquímica da fotossíntese, do que sendo direcionada para a fluorescência. Portanto, as plantas aos 90 dias após o plantio (d.a.p.), ou seja, no período do verão, encontravam-se em melhores condições do que aos 180 d.a.p., que coincidiu com o período do outono.

Resultados diferentes para a variável  $F_0$  foram do mesmo modo verificados por Tonetto (2014) em mudas de *Handroanthus heptaphyllus* a campo, sob diferentes níveis de sombreamento, aos 180 e 360 d.a.p., sendo que as maiores médias foram observadas aos 360 d.a.p. Segundo a autora, estas diferenças podem ter ocorrido em função das mudas terem passado previamente por um período menos favorável, o qual correspondeu ao final da

estação fria (inverno). Nesse período, as mudas estavam realizando mais fluorescência do que destinando energia à fotoquímica.

A eficiência fotoquímica máxima ( $F_v/F_m$ ) não apresentou diferença entre os tratamentos aos 90 e 180 d.a.p. Aos 180 d.a.p., observou-se uma redução neste parâmetro (Tabela 14), sendo que o maior valor de  $F_v/F_m$  aos 90 d.a.p. (0,743) pode representar uma melhor condição às plantas, quando comparado aos 180 d.a.p. (0,632), uma vez que, segundo Bolh ar-Nordenkampf et al. (1989), a razão  $F_v/F_m$  deve variar na faixa de 0,75 a 0,85, considerada como representativa das condições normais de funcionamento do aparato fotossintético.

Tabela 14 – Fluorescência inicial da clorofila *a* ( $F_0$ ) e rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) de mudas de *C. trichotoma* em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Níveis de sombreamento (%)	$F_0$		$F_v/F_m$	
	Dias após o plantio			
	90	180	90	180
0	94,00 <sup>ns</sup>	138,13 <sup>ns</sup>	0,7450 <sup>ns</sup>	0,6375 <sup>ns</sup>
18	101,13	171,50	0,7650	0,6350
50	111,38	202,13	0,7200	0,6025
70	113,25	236,13	0,7425	0,6525
Média	104,94 a <sup>*</sup>	186,97 b	0,743 a	0,632 b

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade de erro.

Valores inferiores a 0,75 da razão  $F_v/F_m$  indicam redução do potencial fotossintético da planta em função de alguma situação de estresse (MAXWELL; JOHNSON, 2000; ARAÚJO et al., 2004). Pode-se verificar que o resultado observado aos 90 d.a.p. para a razão  $F_v/F_m$  ficou bem próximo ao limite inferior previsto, no entanto, aos 180 d.a.p. o resultado encontrado para a variável ( $F_v/F_m$ ) é considerado de plantas estressadas, pois valor inferior a 0,75 indicaria a ocorrência de danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese no fotossistema II.

A irradiância excessiva, que frequentemente está associada a altas temperaturas e alta demanda atmosférica por vapor de água, pode levar a planta a uma condição de estresse e, em função disso, espécies arbóreas adaptadas ao sol frequentemente apresentam menor eficiência



quântica potencial do PSII ( $F_v/F_m$ ) em relação às espécies de ambientes sombreados (RIBEIRO et al., 2005), fato não observado nesta pesquisa, confirmando a plasticidade da espécie.

Aos 180 d.a.p. em plantas de *Handroanthus heptaphyllus* a campo, Tonetto (2014) não observou diferenças significativas nos valores de  $F_v/F_m$  entre os níveis de sombreamento testados, corroborando com os resultados deste trabalho, porém diferenças nos resultados de  $F_v/F_m$  foram verificados aos 360 d.a.p., sendo que a maior média foi para mudas submetidas a 70% de sombreamento (0,61) e a menor média no 18% (0,04). Estes valores, por estarem bem abaixo da amplitude salientada por Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), levou Tonetto (2014) a sugerir que, na obtenção dos dados encontrados na pesquisa para esta variável, tenha ocorrido uma fotoinibição em função do horário de medição, o qual correspondeu ao meio-dia (12 horas).

Em plantas da espécie *Cordia superba* com 12 meses de idade e crescidas em dois ambientes com irradiações contrastantes (pleno sol e sombreamento de 85%), Souza et al. (2009) verificaram que as folhas no ambiente sombreado mostraram valores para o parâmetro de eficiência quântica potencial do PSII ( $F_v/F_m$ ) significativamente maiores do que no sol, o que os autores consideraram como sendo uma característica desejável em um ambiente com baixa disponibilidade de luz.

Os valores médios de  $F_v/F_m$  obtidos por Gonçalves et al. (2010) para plantas jovens de duas espécies arbóreas nativas sucessionais tardias, submetidas a dois ambientes de luz, variaram de 0,82 a 0,83 para *Carapa guianensis* Aubl. e de 0,76 a 0,79 para *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd, ambas na sombra. Para as duas espécies estudadas, após 15 dias de experimento, as plantas expostas ao sol, ou seja, submetidas a um estado de estresse, exibiram valores significativamente menores de  $F_v/F_m$ , quando comparados com as plantas sob condições de sombra.

Dias e Marengo (2007) ao estudarem o efeito da nebulosidade nos parâmetros de fluorescência em plantas de *Minquartia guianensis* Aubl., concluíram que a exposição das plantas à radiação solar reduz a relação  $F_v/F_m$ , em proporção à fluência incidente de fótons na folha, ou seja, a eficiência quântica do fotossistema II foi maior em dias nublados do que naqueles ensolarados. Para uma mesma fluência de fótons, a nebulosidade mitiga o efeito da fotoinibição, sugerindo que a qualidade da luz influencia na fotoinibição da fotossíntese.

Portanto, o esperado seria uma melhoria da relação  $F_v/F_m$  em plantas submetidas aos sombreamentos com maior intensidade, quando comparadas com as expostas a pleno sol, principalmente no período do verão, o que não foi observado neste estudo.

Para plantas de *Caesalpinia echinata* Lam. submetidas a condições controladas de luminosidade (20, 40 e 80% de luz solar total), Baroni (2005) observou os maiores valores médios de  $F_v/F_m$  (0,707) quando submetidas a 40% de luz solar direta no mês de janeiro, bem como no mês de abril (0,741), não havendo diferença significativa entre os dois valores, discordando com o que foi observado nesta pesquisa. O menor valor (0,563) foi medido em janeiro, no tratamento 80% de luz solar total, condição de maior luminosidade e que apresentou, neste caso, segundo Baroni (2005), maior fotoinibição do sistema fotossintético.

A análise da taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) permite inferir que o maior valor foi obtido a pleno sol, não diferindo dos tratamentos a 18 e 50% de sombreamento, sendo superior estatisticamente ao sombreamento de 70%, este último demonstrando a menor média (94,62), indicando não ser um nível de sombreamento adequado para a espécie (Tabela 15). No tempo de avaliação para a variável  $ETR$ , observou-se que o maior valor foi obtido aos 90 d.a.p., diferindo estatisticamente dos 180 d.a.p. A redução do valor do  $ETR$  aos 180 d.a.p. pode indicar decréscimo na atividade do fotossistema II, com aumento da fotoinibição, conforme foi observado por Lemos-Filho (2000).

Tabela 15 – Taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) de mudas de *C. trichotoma* em diferentes intensidades de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

<b>Níveis de sombreamento (%)</b>	<b><math>ETR</math> <math>\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}</math></b>
0	141,76 a <sup>*1</sup>
18	127,34 ab
50	100,07 ab
70	94,62 b
<b>Tempo de Avaliação (dias)</b>	<b><math>ETR</math> <math>\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}</math></b>
90	133,03 a <sup>*2</sup>
180	98,86 b

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey<sup>1</sup> e pelo teste t de Student<sup>2</sup>, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Em plantas de *Cordia superba* com 12 meses de idade e crescidas em dois ambientes com irradiações contrastantes (pleno sol e sombreamento de 85%), Souza et al. (2009) observou que, apesar da fotoinibição nas plantas a pleno sol, a taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) foi significativamente maior do que nas plantas de sombra, variando de 150 a 210  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nas folhas de sol, para 20 a 30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nas de sombra.

De forma semelhante, taxas de *ETR* em torno de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  foram observadas em plantas de *Vochysia divergens* Pohl crescidas a pleno sol, em áreas de cerrado rupestre, por Paula et al. (2015), assim como Barros et al. (2012) constataram que indivíduos adultos de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allem. ex Benth. sob o sol apresentaram valores mais elevados de *ETR* do que indivíduos crescidos na sombra, com valores máximos em torno de 62 e  $36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o pleno sol e sombra, respectivamente.

Assim, pode-se considerar que, no geral, as variáveis da fluorescência da clorofila *a* apresentaram melhores resultados aos 90 d.a.p., coincidindo com o período de verão. Estes resultados podem elucidar sobre a capacidade da espécie em desenvolver diferentes estratégias de utilização de luz, não tendo seu crescimento prejudicado quando submetida a ambientes sob baixa irradiância, ou seja, apresentando uma boa capacidade de captura de luz em condições de sombreamento, ajustando de maneira eficaz seu comportamento fisiológico para maximizar a aquisição de luz em ambientes com maior sombreamento e exibindo estratégias de fotoproteção sob alta luminosidade, apesar deste aspecto não ter sido revertido em maior crescimento das plantas nestas condições.

No caso de *C. trichotoma* uma destas estratégias poderia ser a presença de maior densidade de tricomas nas folhas das plantas expostas a alta incidência de energia luminosa, pois esta característica morfológica exerce um papel refletor da irradiância excessiva, auxiliando no controle da temperatura e na diminuição da ação do vento nas plantas (PAULA et al., 2015).

Com relação às variáveis fisiológicas, a intensidade de sombreamento não influenciou a produção de pigmentos fotossintéticos, a fluorescência inicial da clorofila *a* (*F0*) e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (*Fv/Fm*) em mudas de *C. trichotoma*, mas sim a época do ano, uma vez que a qualidade de luz do verão é favorável para o desenvolvimento da espécie, independente dos níveis de sombreamento. A taxa de transporte de elétrons (*ETR*) evidenciou que o sombreamento de 70% não seria o mais recomendado para as mudas de *C. trichotoma*, na fase inicial do crescimento a campo.

A parte aérea das mudas de *C. trichotoma* foi morfológicamente superior sob sombreamento, demonstrando que a redução da luminosidade não promoveu estresse capaz de influenciar negativamente no teor de pigmentos, fluorescência e desenvolvimento radicular das plantas.

De acordo com os dados morfométricos obtidos para as variáveis AP e DC ao longo do experimento, ficou evidente a grande variabilidade no crescimento dos indivíduos a campo, fato verificado da mesma forma por Freitas et al. (2006) e Radomski et al. (2012), apesar da

definição de critérios prévios para seleção das mudas antes da instalação do experimento, o que ocorre devido à variabilidade genética comumente observada em plantas oriundas de sementes. Portanto, a seleção de progênies para os caracteres de crescimento da espécie possibilitaria ganhos genéticos na produção de mudas *C. trichotoma*.

Com relação ao efeito do sombreamento sobre o crescimento inicial a campo de mudas de *C. trichotoma*, pelos resultados obtidos, pode-se considerar que a condição a pleno sol não foi a mais interessante para a espécie, não se descartando sua tendência de espécie heliófita, assim como afirma Lorenzi (1992), pelo fato de que desenvolve sua parte aérea expressivamente nos maiores sombreamentos, na busca de luz. Por outro lado, como pioneira, conforme Carvalho (1994) e Bertolini et al. (2012), essa espécie deverá ser conduzida por mais tempo contra a matocompetição. De acordo com as características apresentadas pela espécie, sua classificação como secundária inicial na região de estudo seria a mais apropriada, corroborando com Vaccaro, Longhi e Brena (1999).

Pode-se constatar que a espécie *C. trichotoma* responde com muita plasticidade às diferentes intensidades luminosas, sendo esta característica possível de ser utilizada em ações silviculturais, como o plantio em ambientes mais sombreados (25 a 50%), com abertura posterior, situação em que haveria uma resposta positiva das plantas, bem como no enriquecimento de capoeiras em áreas de reserva legal.

#### **4.6 Conclusões**

*Cordia trichotoma* é uma espécie plástica aos diferentes sombreamentos, entretanto, demonstra respostas diferentes em relação ao desenvolvimento da parte aérea, de acordo com a disponibilidade de luz.

O plantio a pleno sol afetou negativamente o crescimento da parte aérea das plantas, podendo ser um limitante na competição com invasoras.

O plantio em matriz de vegetação florestal de estágio inicial sob sombreamento de 18 a 50% é possível, considerando o crescimento e valores fisiológicos favoráveis ao desenvolvimento da espécie observados nestas condições.

## 5 CAPÍTULO III

### UMIDADE DO SOLO NO CRESCIMENTO INICIAL A CAMPO DE MUDAS DE *Cordia trichotoma*

#### 5.1 Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar, com base em variáveis morfofisiológicas, o crescimento inicial a campo de mudas de *C. trichotoma* em resposta ao excesso de umidade do solo. O experimento foi implantado em área adjacente ao Viveiro Florestal do DCFL, no campus da UFSM, em Santa Maria-RS. Foi realizada a análise de características físicas (granulometria, densidade do solo -  $D_s$ , umidade -  $U$ , macroporosidade -  $Mac$ , microporosidade -  $Mic$  e porosidade total -  $Pt$ ) do solo em cinco locais (área 1 a 5) com diferentes infiltrações da água após precipitação. A sobrevivência das mudas foi analisada aos 180 dias após o plantio, assim como as variáveis morfológicas: altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF) e as análises fisiológicas, utilizando-se os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* (fluorescência inicial, razão fluorescência variável/fluorescência máxima e taxa de transporte de elétrons). Na área 3 a baixa taxa de sobrevivência (37,5 %) aos 180 dias, foi caracterizada pela permanência de água na superfície por mais tempo, principalmente após precipitações superiores a 20 mm, além disso também ocorreram menores médias das variáveis morfológicas AP, DC e NF. As variáveis fisiológicas da fluorescência da clorofila *a* apesar de menos expressivas, demonstram tendências que desqualificam a área 3 para o plantio de *C. trichotoma*. Os resultados da análise de correspondência canônica (CCA) indicaram a influência da microporosidade e do teor de argila sobre as variáveis morfofisiológicas de mudas de *C. trichotoma* presentes na área 3. Microporosidade de 36,7% e teor de argila de 36,6%, nos primeiros 20 cm do solo, são condições restritivas ao crescimento inicial de *C. trichotoma*, a qual demonstrou intolerância a ambientes com excesso de umidade no solo, não sendo recomendado o plantio em locais planos, com problemas de drenagem.

**Palavras-chave:** Louro-pardo. Plantio de mudas. Parâmetros morfofisiológicos. Análise de Correspondência Canônica.

## 5.2 Abstract

The objective of the study was to analyze, based on morphological and physiological variables, the initial growth of *Cordia trichotoma* seedlings in the field in response to excess soil moisture. The experiment was established in the adjacent area to the DCFL Forest Nursery in the campus of UFSM, Santa Maria-RS. An analysis of physical characteristics of the soil (granulometry, soil density -  $D_s$ , humidity -  $H$ , macroporosity -  $Mac$ , microporosity -  $Mic$  and total porosity -  $P_t$ ) was performed in five locations (areas 1 to 5) with different water infiltration after precipitation. The survival of seedlings was evaluated at 180 days after planting, as well as the morphological variables: plant height (PH), stem diameter (SD) and number of leaves (NL) and physiological analysis, using the fluorescence parameters of chlorophyll *a* (initial fluorescence, variable fluorescence/ maximum fluorescence relation and electron transport rate). The low survival rate in area 3 (37,5%) at 180 days was characterized by the longer permanence of water on the surface, especially after precipitation exceeding 20 mm. In addition, smaller averages for morphological variables PH, SD and NL were presented. Although less significant, the physiological variables of chlorophyll *a* fluorescence show tendencies that disqualify area 3 for the *C. trichotoma* planting. The results of Canonical Correspondence Analysis (CCA) indicated the influence of microporosity and clay content on the morphological and physiological variables of *C. trichotoma* seedlings present in area 3. The microporosity of 36,7% and the clay content of 36,6% in the first 20 cm of soil are restrictive conditions to the initial growth of *C. trichotoma*, which showed intolerance to environments with excess soil moisture, thus, planting is not recommended in plain fields with drainage problems.

**Keywords:** *Cordia trichotoma*. Seedling planting. Morphological and Physiological parameters. Canonical Correspondence Analysis.

### 5.3 Introdução

A espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., popularmente conhecida como louro-pardo, pertence à família Boraginaceae, ocorrendo em diferentes regiões do Brasil, desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; SOBRAL et al., 2006). De acordo com Carvalho (2003), é encontrada na vegetação secundária, no estágio de capoeira e capoeirões.

Segundo Coradin, Siminski e Reis (2011) a espécie *C. trichotoma* é considerada uma das arbóreas nativas madeireiras prioritárias para plantios florestais da região sul do Brasil, principalmente por apresentar potencial para integrar estratégias de recuperação ambiental, possuir viabilidade econômica do seu cultivo ou manejo, ter crescimento volumétrico elevado, qualidade de madeira comprovada e multifuncionalidade de usos da madeira.

Com relação às exigências quanto ao tipo de solo, Lorenzi (2008) descreveu que o louro-pardo é pouco exigente, exceto quando muito úmidos, porém Carvalho (2003) salienta que os plantios com *C. trichotoma* devem ser feitos em áreas com solos bem drenados, sendo uma espécie influenciada por pequenas variações locais do solo, preferindo aqueles com textura que varia de franca a argilosa. O autor inclusive enfatiza que solos hidromórficos rasos devem ser evitados. Apesar destas informações, conhecimentos sobre os atributos físicos do solo, como densidade, macroporosidade, microporosidade, umidade, que apresentem restrição ao crescimento da espécie, não estão disponíveis na literatura.

A preferência das espécies por determinados habitats é uma informação fundamental na indicação do seu uso em plantios florestais, além de apresentar grande implicação na definição de estratégias de conservação e restauração de ecossistemas, pois ilustra a importância do uso de espécies adequadas, de acordo com o ambiente considerado. A heterogeneidade dos ambientes, representada muitas vezes pela drenagem do solo, tem influência significativa no número de espécies, sendo que ambientes com menor capacidade de infiltração de água no perfil do solo, geralmente apresenta menor número de espécies, reduzindo, assim, a riqueza florística observada nestas áreas (HIGUCHI et al., 2014).

O crescimento de espécies florestais é influenciado diretamente pelas condições de umidade do solo no ambiente do plantio, podendo decrescer tanto em solos secos, quanto em solos com excesso de umidade. Como a fotossíntese é extremamente sensível à disponibilidade de água, solos com excesso de umidade apresentam redução de espaços ocupados pelo ar, o que diminui a disponibilidade de oxigênio, alterando os processos físicos,

químicos e biológicos do solo, afetando diretamente o desenvolvimento das plantas (PALLARDY, 2008).

Estudos sobre as características adaptativas das espécies arbóreas a ambientes com excesso de umidade são importantes, pois fornecem informações sobre espécies que poderão ser utilizadas na recomposição florestal de áreas ciliares (MEDRI et al., 1998).

O principal determinante dos efeitos adversos do excesso de umidade no solo é a situação de hipóxia ou anóxia em torno das raízes, determinando efeitos desfavoráveis para o desenvolvimento vegetal. A ausência de oxigênio afeta a atividade metabólica e a produção de energia das plantas, pois este elemento é vital no fornecimento de energia para as vias celulares (DENNIS et al., 2000).

Contudo, tem-se a necessidade de identificar variáveis ambientais restritivas para o estabelecimento das plantas. As correlações das informações da vegetação com as variáveis ambientais podem ser determinadas com a utilização de uma das técnicas de análise multivariada, que é a Análise de Correspondência Canônica (CCA), conforme pode ser observado em trabalhos desenvolvidos por Ferreira et al. (2007), Rodrigues et al. (2007), Teixeira et al. (2010), Avila et al. (2011), Faria et al. (2012), Ferreira et al. (2014), Gasper et al. (2015) e Braga et al. (2015).

No experimento a campo com mudas de *C. trichotoma* apresentado no capítulo anterior, houve a perda praticamente total de um dos blocos, necessitando de elevado percentual de replantio e as mudas sobreviventes apresentaram reduzidos valores das variáveis morfológicas. Portanto, decidiu-se verificar os fatores limitantes da baixa sobrevivência e crescimento das mudas, uma vez que, conforme Caron et al. (2010), estudos sobre o desenvolvimento de plantas em diferentes ambientes oferecem respostas sobre as melhores condições para as espécies serem cultivadas.

Considerando que pouco se conhece sobre a influência de atributos físicos do solo no crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma* a campo, bem como a utilização da fluorescência da clorofila *a* como ferramenta ecofisiológica, no que se refere ao comportamento de plantas, quando submetidas a diferentes ambientes, o objetivo deste estudo foi verificar, com base em variáveis morfofisiológicas de plantas jovens de *C. trichotoma*, a resposta da espécie ao excesso de umidade do solo.



## 5.4 Material e métodos

### 5.4.1 Caracterização geral da área de estudo

O experimento foi implantado em área pertencente ao Viveiro Florestal do DCFL, localizado no campus da UFSM (29° 43' 12'' S e 53° 43' 17'' O), município de Santa Maria-RS, com altitude do local de 95 m, sendo conduzido de outubro de 2014 a abril de 2015.

O clima da região, de acordo a classificação de Köppen, pertence ao tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). De acordo com Alvares et al. (2013), a precipitação mensal na região é bem distribuída, sendo entre 100 e 170 mm.

Na região ocorrem as quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem o período entre junho e agosto, e os mais quentes, entre dezembro e março.

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Meteorológica de Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, que é conveniada ao 8º Distrito de Meteorologia, fazendo parte do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Na Tabela 16 é possível observar as médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação registrada no município de Santa Maria, durante a realização do experimento.

Tabela 16 – Temperatura média mensal (T Md), temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento), precipitação (Pp) e radiação (Rad) registrados no Município de Santa Maria, RS.

Mês/Ano	T Md °C	T Max °C	T Min °C	UR %	Vel Vento (m/s)	Pp (mm)	Rad. (kJ/m <sup>2</sup> )
Outubro/14	22,4	37,2	12,8	78,8	2,2	191,0	20716,3
Novembro/14	22,6	35,1	10,8	73,2	2,1	86,6	23401,1
Dezembro/14	23,2	35,7	13,4	79,0	2,6	324,2	20975,0
Janeiro/15	24,2	36,2	14,6	82,5	1,8	190,2	20494,3
Fevereiro/15	23,7	32,2	16,4	83,7	1,9	90,8	22053,4
Março/15	22,5	33,9	10,9	82,6	1,7	142,4	18635,9
Abril/15	19,3	31,4	10,3	83,7	1,5	131,2	14899,6

Fonte: Estação Climatológica Principal de Santa Maria, instalada no Departamento de Fitotecnia no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os meses mais quentes no período do estudo foram janeiro e fevereiro de 2015, e o mais frio em abril do mesmo ano. A precipitação mensal ficou abaixo da estimada para a região nos meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015 e acima, nos meses de outubro e dezembro de 2014 e janeiro de 2015. O mês de dezembro de 2014 apresentou a maior velocidade média de vento e o maior valor de radiação ocorreu nesse mesmo ano, no mês de novembro, seguido pelo mês de fevereiro de 2015 (Tabela 16).

De acordo com Streck et al. (2008), a principal classe de solo da região pertence à Unidade de Mapeamento Santa Maria, denominado de Argissolo, que possui variações dependendo da cota do relevo, o qual varia de suavemente ondulado a ondulado.

A área utilizada para o experimento foi aterrada e posteriormente, passou por uma terraplanagem e estava sendo ocupada para outras pesquisas de plantios de espécies florestais arbóreas. Na instalação do experimento a área se encontrava com a vegetação herbácea roçada.

#### 5.4.2 Produção de mudas, preparo da área e implantação das mudas

As mudas de *Cordia trichotoma* utilizadas no plantio foram produzidas em tubetes cilíndrico-cônicos de polipropileno com capacidade de 110 cm<sup>3</sup>, no Viveiro Florestal do DCFL/UFSM, sendo selecionadas aleatoriamente com base nas características apresentadas com relação à altura (média de 25,1 cm), diâmetro do coleto (média de 5,86 mm), relação altura e diâmetro do coleto (média de 4,47), coloração das folhas, sendo verde-escura na face superior e grisácea na inferior e sem indicativo de problemas de sanidade.

O estudo foi realizado com base em um experimento maior, que contemplou a análise do crescimento de mudas de *C. trichotoma* em diferentes níveis de sombreamento (0, 18, 50, 70%), conforme descrito no Capítulo II. No presente experimento, o foco foi dado à condição do solo, considerando a possível situação de anóxia resultante da saturação hídrica em duas áreas, em ocasião de maior precipitação. Dessa forma, o experimento foi composto por cinco áreas (blocos do experimento apresentado no Capítulo II), contendo quatro parcelas de 4 mudas, plantadas no espaçamento de 1,0 m x 1,0 m (Apêndice 13).

As informações quanto ao preparo da área, implantação das mudas e instalação do experimento estão descritas no item 4.4.4 do Capítulo II.

As atividades de abertura das covas, plantio das mudas, irrigação no plantio, adubação e tratos culturais estão descritas no item 4.4.4 do Capítulo II.

No período anterior ao plantio e logo após o mesmo, foi verificada uma alta ocorrência de chuvas, tanto que ao ser realizada a abertura das covas durante a instalação do experimento e posterior aos replantios (15 e 20 dias após o plantio), percebeu-se solo extremamente úmido, principalmente nos blocos 3 e 4, apesar dos drenos instalados previamente no seu entorno. Além disso, observou-se que nestas áreas a água permanecia por mais tempo na superfície, do que nas demais, principalmente após a incidência de precipitações superiores a 20 mm. Em função disso realizaram-se análises mais detalhadas para verificar as características físicas do solo do local do experimento.

Para as análises físicas do solo foram efetuadas as coletas de amostras de estrutura preservada e não preservada, em dois locais distintos em cada bloco. As amostras de estrutura preservada foram coletadas com anéis volumétricos metálicos (0,057 m de diâmetro e 0,03 m de altura), em duas profundidades: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Apêndice 7 A, B e C). Para isso, abriram-se trincheiras de 0,30 m x 0,20 m x 0,20 m, a fim de que os anéis fossem introduzidos no solo. Estas amostras de solo coletadas com os anéis foram utilizadas nas determinações de densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, da umidade (U), da macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) determinadas na mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e da porosidade total (Pt), pela percentagem de saturação por água do solo.

Amostras de solo de estrutura não preservada, coletadas em cada bloco em três profundidades (0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFSM, e serviram para as determinações de granulometria pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), sendo a classe textural definida de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

#### 5.4.3 Sobrevivência e parâmetros morfofisiológicos analisados

A sobrevivência das mudas foi analisada aos 180 dias após o plantio, assim como as variáveis morfológicas altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF). A mensuração da altura da parte aérea e do diâmetro do coleto foi realizada com o auxílio de uma régua (cm) e paquímetro digital de precisão (mm), respectivamente. O número

de folhas foi contado manualmente, sendo que foram consideradas todas as folhas com comprimento maior do que 3,5 cm.

As análises fisiológicas foram realizadas aos 180 dias após a instalação do experimento a campo, utilizando-se a fluorescência da clorofila *a*, que foi mensurada por meio do fluorômetro de pulso modulado JUNIOR-PAM (Walz, Alemanha), sendo determinados os parâmetros: fluorescência inicial ( $F_0$ ), razão fluorescência variável/fluorescência máxima (eficiência fotoquímica máxima do PSII) ( $F_v/F_m$ ) e a taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ).

A metodologia de obtenção dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* está descrita no item 4.4.6 do Capítulo II.

Para verificar a diferença das variáveis morfológicas e fisiológicas nos blocos utilizou-se análise não paramétrica por meio do Teste de Kruskal-Wallis (H), o qual é utilizado para avaliar duas ou mais populações quanto à tendência central dos dados, assim, quando H foi significativo, procedeu-se comparações múltiplas pelo teste de Dunn, a 5% de probabilidade de erro (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

#### 5.4.4 Análise de Correspondência Canônica (CCA)

A correlação entre os dados morfofisiológicos das mudas de *Cordia trichotoma* e as variáveis físicas do solo, por meio da Análise de Correspondência Canônica (CCA), que é uma das técnicas da estatística multivariada, foi realizada com auxílio do programa PC-ORD™ for Windows versão 5.10 (McCUNE; MEFFORD, 2006). A análise partiu da formação de duas matrizes: uma referente às áreas analisadas e variáveis morfológicas e fisiológicas obtidas, e outra, contendo as áreas e variáveis físicas do solo. Como na CCA a matriz secundária deve apresentar número de variáveis ambientais (colunas) menor que o número de áreas analisadas (linhas), foi realizada uma análise preliminar para retirar variáveis pouco correlacionadas.

Para as variáveis morfofisiológicas, partiu-se de um maior número de variáveis (sobrevivência; AP; DC; NF; fluorescência da clorofila *a*, por meio das variáveis  $F_0$ ,  $F_v/F_m$  e  $ETR$ ), selecionando-se aquelas cujas médias mostravam-se diferentes nas áreas.

Portanto, os dados de entrada consistiram em uma matriz principal com as cinco áreas analisadas (linhas), a sobrevivência, variáveis morfológicas (AP, DC e NF) e variáveis

fisiológicas ( $F_0$ ,  $F_v/F_m$ ,  $ETR$ ), obtidas aos 180 dias após o plantio (colunas) e uma matriz secundária com as cinco áreas (linhas) e quatro variáveis físicas do solo (teor de areia – Areia20, silte – Silte20 e argila – Argil20 e microporosidade – Micr20), correspondendo às médias obtidas de 0 a 20 cm de profundidade (colunas). Para avaliação da significância entre as matrizes contendo as variáveis morfológicas e as ambientais, utilizou-se o teste de permutação de Monte Carlo, ampliando-se a precisão do cálculo de probabilidade por meio da execução de 1000 interações, conforme descrito em McCune e Grace (2002).

## 5.5 Resultados e discussão

### 5.5.1 Atributos físicos do solo

A classe textural do solo do local do experimento variou de franco, franco siltosa e franco argilosa, sendo que no bloco 2 a variação ocorreu ao longo do perfil do solo analisado (Tabela 17). Esta variação observada na classe textural é resultante do aterramento com posterior terraplanagem realizado no local utilizado para o experimento.

Pode-se observar que os maiores valores da fração argila, nas três profundidades, foram encontrados no bloco 3. Na profundidade de 0,00 a 0,10 m o teor de argila no bloco 3 foi alto, assim como no bloco 5, porém o teor de areia foi maior no bloco 5 do que no bloco 3, o que proporciona maior lixiviação. Nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m a fração argila permaneceu alta no bloco 3, enquanto no bloco 5, essa fração diminuiu. No bloco 4, a fração silte apresentou os maiores valores nas três profundidades.

O crescimento vegetal é afetado direta e indiretamente pelas características físicas do solo, entre elas a densidade, a resistência à penetração, a condutividade hidráulica, a porosidade e a agregação (PIZZANI, 2012), por isso a granulometria e, conseqüentemente, o arranjo das partículas podem modificar todas essas variáveis e, assim, o desenvolvimento da planta.

Tabela 17 – Distribuição das partículas por tamanho e classificação textural do solo do local do experimento, Santa Maria, RS.

Bloco	Distribuição do tamanho de partículas (%)				Classe textural
	Areia grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	
Profundidade de 0,00 – 0,10 m					
1	14,15	18,97	41,77	25,12	Franco
2	17,74	26,57	31,21	24,49	Franco
3	17,53	21,45	26,88	34,14	Franco Argiloso
4	7,91	12,57	59,14	20,38	Franco Siltoso
5	20,97	22,07	25,16	31,79	Franco Argiloso
Profundidade de 0,10 – 0,20 m					
1	16,57	25,18	30,98	27,27	Franco
2	16,98	21,72	27,24	34,06	Franco Argiloso
3	17,11	20,58	23,20	39,11	Franco Argiloso
4	7,79	14,3	57,92	19,99	Franco Siltoso
5	21,10	19,67	27,04	32,19	Franco Argiloso
Profundidade de 0,20 – 0,30 m					
1	17,97	25,68	30,48	25,86	Franco
2	20,26	17,83	24,31	37,6	Franco Argiloso
3	19,69	20,10	21,34	38,86	Franco Argiloso
4	10,46	15,06	55,56	18,92	Franco Siltoso
5	20,44	22,12	27,81	29,63	Franco Argiloso

Metodologia: método da pipeta; Classe Textural: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Tabela 18 – Densidade do solo (Ds), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), porosidade total (Pt) e umidade (U) do solo dos blocos de plantio das mudas de *C. trichotoma*, Santa Maria, RS.

Bloco	Ds (g cm <sup>3</sup> )	Mic (%)	Mac (%)	Pt (%)	U (%)
Profundidade de 0,0 – 0,10 m					
1	1,32	36,40	5,85	42,25	27,49
2	1,50	29,87	5,64	35,51	19,94
3	1,33	36,76	5,87	42,63	27,54
4	1,36	34,15	5,06	39,22	25,42
5	1,50	36,47	7,23	43,70	24,29
Profundidade de 0,10 – 0,20 m					
1	1,44	32,94	5,77	38,71	22,86
2	1,55	37,40	2,38	39,78	24,06
3	1,53	36,68	3,57	40,25	24,08
4	1,70	36,75	6,36	43,11	21,67
5	1,58	33,93	7,18	41,12	22,22

Os dados de densidade de solo (Ds) e umidade (U) obtidos não apresentaram valores com variação expressiva nos cinco blocos analisados (Tabela 18). Apenas na profundidade de 0,10 a 0,20 m observa-se um valor da Ds superior aos demais, no bloco 4. Este fato pode ter ocorrido, pois, de acordo com os dados que constam na Tabela 17, no bloco 4, nesta profundidade, ocorreu o menor percentual de areia (22,09%). Segundo Morales et al. (2010), densidades maiores do solo podem estar relacionadas com o menor teor de areia presente no solo.

Os valores de Ds que possam vir a prejudicar o desenvolvimento das plantas em função do aumento da resistência ao crescimento de raízes variam de acordo com a classe textural do solo (REINERT et al., 2008). Para Reichert, Reinert e Braida (2003) a densidade do solo crítica varia 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup> para os franco argilosos. Segundo Morales et al. (2010) valores maiores de Ds podem ocasionar restrição ao desenvolvimento radicular por resistência mecânica, bem como estresse hídrico em períodos de menor umidade e por deficiência de aeração, em períodos mais úmidos.

Como no local do experimento a classe textural que predominou foi a franco argilosa (Tabela 17), pode-se considerar que, de acordo com o que foi proposto por Reichert, Reinert e Braida (2003), na maior parte da área, principalmente na profundidade de 10 a 20 cm, a Ds é crítica, pois é superior a 1,40 Mg m<sup>-3</sup>, e considerando a Ds média de 0 a 20 cm, o único bloco que ficou abaixo do valor crítico foi o 1. Porém, os mesmos autores citam que alguns pesquisadores sugerem que a densidade não é o fator mais importante que limita o crescimento radicular, mas sim a resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes.

A partir das observações dos atributos físicos do solo (granulometria, Ds e volume total de poros) em áreas de mata mesofítica, cerrado sensu stricto e cerradão em Pirapitinga-MG, Giacomini et al. (2015) verificaram que supostamente a associação da textura argilosa e maiores valores de porosidade do solo contribuem para uma maior retenção de água e nutrientes, favorecendo o maior desenvolvimento das espécies que ocorrem na área de mata mesofítica. Considerando que solos argilosos apresentam mais microporos do que os arenosos, a retenção de água é maior que nos solos arenosos (FLOSS, 2006).

A macroporosidade (Mac), que representa a porosidade de aeração do solo (COLLARES et al., 2006), de maneira geral, foi maior na camada de 0,0-0,10 m, quando comparada com a camada de 0,10-0,20 m (Tabela 18). Segundo Ferreira (2010), o desenvolvimento das plantas está diretamente relacionado com a porosidade de aeração do solo, que quando inferior a 10%, é prejudicial para as plantas, concordando com a afirmativa de Silva et al. (2010), os quais consideram que a porosidade de aeração é dependente do

conteúdo de água no solo, sendo o valor de 10% da porosidade total com ar o mínimo para que a taxa de difusão de oxigênio seja adequada para o desenvolvimento satisfatório das plantas. Valores muito baixos de macroporosidade podem afetar negativamente o processo de respiração do sistema radicular, e também influenciar na infiltração e drenagem da água no perfil do solo (PIZZANI, 2008).

Apenas nos blocos 2 e 3, na camada de 0,10-0,20 m foram observados valores de Mac inferiores a 10% da Pt, sendo que nos demais blocos os resultados foram superiores a 10% da Pt (Tabela 18).

Os maiores valores de Mac da mesma forma foram observados na profundidade de 0,0-0,10 m por Rigatto, Dedeczek e Mattos (2005) e, de maneira geral, os sítios com textura mais arenosa tiveram os maiores valores. Nos solos argilosos, os autores observaram valores de Mac, em média, em torno de 25% menores do que nos arenosos, naturalmente em função da textura.

A Pt do solo, representada pela fração em volume não ocupada por sólidos, é influenciada pela estrutura e textura do solo. A estimativa é que a Pt deve variar, nos diferentes solos, entre 30 e 70% (FERREIRA, 2010). Esses dados corroboram com o que foi verificado neste experimento, em que a Pt variou de 35,51 a 43,70% (Tabela 18).

A umidade no solo (U) não apresentou variação expressiva entre os blocos, nem entre as duas camadas de solo analisadas (0,00-0,10 e 0,10-0,20 m), indicando que, no momento da coleta das amostras de solo, as áreas estavam em condições semelhantes de umidade. O teor de água do solo controla a aeração, a temperatura e a impedância mecânica, os quais são prejudicados pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. O aumento no teor de água no solo reduz a aeração, que é um efeito indesejável, e a resistência do solo à penetração, que é um efeito desejável, uma vez que facilita o processo de penetração das raízes no solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003; COLLARES et al., 2006).

Segundo Buckman e Brady (1979), um solo com ótimas condições para o crescimento vegetal apresenta cerca de 50% de espaço poroso (ar e água), sendo 25% de espaço com água e 25% com ar, estando em situações naturais, esta proporção de água e ar naturalmente sujeita a grandes flutuações. De acordo com os valores da Tabela 18, somente na camada superficial (0,00-0,10 m) foram observados valores ligeiramente superiores a 25% de umidade, nos blocos 1, 3 e 4. Entretanto, a umidade é uma informação pontual, que pode variar expressivamente conforme a ocasião da coleta, nesse caso, utiliza-se análises das características do solo, capazes de evidenciar a retenção de água.



### 5.5.2 Sobrevivência

De acordo com os dados da Tabela 19, pode-se verificar que foi necessário o replantio de 87,5% das mudas do bloco 3, nas duas ocasiões (15 e 20 dias). Observa-se que no bloco 4, apesar de ter sido necessário o replantio de 50% das mudas, posteriormente, a taxa de sobrevivência observada aos 180 dias atingiu 93,75%, diferente do que ocorreu no bloco 3, cuja taxa de sobrevivência das mudas foi 37,5%, inferior aos demais blocos.

Em um plantio de *Cordia trichotoma*, no município de Japorã (MS), o percentual de sobrevivência nos 180 dias subsequentes foi de 87,5% (SALVADORI et al., 2013), inferior ao observado nos blocos 1, 2, 4 e 5 deste experimento.

Nos blocos com menor saturação hídrica, obteve-se sobrevivência superior ao salientado por IPEF (2014), cuja percentagem média de plantas vivas em plantios de *C. trichotoma* é de 78%, inferior ao observado neste estudo, com exceção do bloco 3.

Tabela 19 – Número de mudas plantadas, replantadas após 20 dias do plantio e sobrevivência aos 180 dias, por bloco, no experimento a campo de *C. trichotoma*, Santa Maria, RS.

Bloco	nº mudas plantio	nº de mudas replantadas em 15 d.a.p.*	nº de mudas replantadas em 20 d.a.p.	Total replantio	Sobrevivência (%)
1	16	-	-	-	100
2	16	-	-	-	100
3	16	3	11	14	37,5
4	16	5	3	8	93,75
5	16	-	2	2	100
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	

\* dias após o plantio.

### 5.5.3 Variáveis morfológicas

De forma geral, no bloco 3, as mudas demonstraram o pior desempenho (Tabela 20), confirmando os resultados de sobrevivência, cujas mudas que se mantiveram vivas não apresentaram desenvolvimento satisfatório.

A média da altura das plantas dos blocos 1 e 2 foi superior e se destacou em relação aos demais blocos, apesar de terem diferido apenas do bloco 3, com crescimento em altura aproximadamente 70% inferior à maior média, observada no bloco 1.

Situação semelhante ocorreu com o diâmetro do coleto (DC), cujo maior valor médio foi observado no bloco 1 e o menor no bloco 3 (68% menor ao da área 1). Os resultados do DC, apesar de não diferirem estatisticamente, nos blocos 2, 4 e 5 ficaram em média 30% inferiores ao valor observado no bloco 1.

O reduzido número de folhas (NF) no bloco 3 também respalda que essa área não é adequada para o crescimento de *C. trichotoma*, tendo em vista que ficou 93% inferior ao maior valor, verificado no bloco 1, corroborando as demais variáveis morfológicas (AP e DC).

Tabela 20 – Altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF), por bloco, das mudas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Bloco	AP (cm)	DC (mm)	NF
1	107,79 a *	27,17 ab	452,54 ab
2	102,90 a	21,99 bc	238,35 bc
3	31,89 b	8,65 c	30,61 c
4	66,56 ab	17,22 bc	130,22 bc
5	77,01 ab	17,97 bc	159,94 bc

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Dunn, a 5% de probabilidade de erro.

#### 5.5.4 Variáveis fisiológicas

A análise fisiológica dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* realizada aos 180 dias, apresentou variação entre os blocos analisados para a variável  $F_v/F_m$  (Tabela 21). Para a variável  $F_0$ , apesar de não haver diferença significativa, verifica-se as menores médias nos blocos 2 e 1 (Tabela 21) e maior no bloco 3. Segundo Zlatev e Yordanov (2004), a fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro ( $F_0$ ) aumenta quando o aparato fotoquímico está danificado, portanto, as plantas dos blocos 1 e 2 encontravam-se em melhores condições do que as plantas dos demais blocos.

Quanto menores os valores de  $F0$ , melhor para as plantas, pois na ausência de luz, o aparato fotossintético de uma planta que não esteja sob condição de estresse encontra-se totalmente oxidado (PRADO; CASALI, 2006). Este resultado indica que a maior quantidade de energia está sendo direcionada à etapa fotoquímica da fotossíntese, do que sendo empregada na fluorescência.

Tabela 21 – Fluorescência inicial da clorofila  $a$  ( $F0$ ), rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $Fv/Fm$ ) e taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) de mudas de *C. trichotoma* em diferentes blocos, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.

Blocos	$F0$	$Fv/Fm$	$ETR$
1	164,50 <sup>ns</sup>	0,7025 a*	98,688 <sup>ns</sup>
2	109,50	0,6275 ab	136,238
3	280,17	0,5025 b	93,983
4	226,38	0,5775 ab	76,863
5	214,17	0,6200 ab	98,500

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade. \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Dunn, a 5% de probabilidade de erro.

Em mudas de dois clones de *Eucalyptus* sp. estabelecidos no campo, em duas épocas do ano (seca e chuvosa), foram verificados por Tatagiba e Pezzopane (2007) diferentes resultados para a variável  $F0$ , sendo que durante a época seca foram encontrados maiores valores para os dois clones, em relação à época chuvosa, o que pode indicar menor possibilidade de adaptação das plantas às condições fotoinibitórias provenientes da deficiência hídrica encontrada no solo, ou seja, que o sistema de absorção de luz do PSII atuou mais eficientemente na época chuvosa, do que em relação à época seca.

A eficiência fotoquímica máxima ( $Fv/Fm$ ) apresentou a melhor resposta para a relação no bloco 1 (Tabela 21), o que pode estar representando a condição favorável das plantas desta área, como pode ser constada com os resultados da Tabela 20. Segundo Bolhàr-Nordenkamp et al. (1989), a razão  $Fv/Fm$  deve variar de 0,75 a 0,85, quando uma planta não está submetida a nenhum tipo de estresse.

Como valores inferiores a 0,750 da razão  $Fv/Fm$  indicam redução do potencial fotossintético da planta em função de alguma situação de estresse (MAXWELL; JOHNSON, 2000; ARAÚJO et al., 2004), pode-se verificar que o resultado observado para a razão  $Fv/Fm$  no bloco 1 ficou bem próximo ao limite inferior previsto (Tabela 21). No entanto, para os demais blocos, os resultados encontrados para a variável ( $Fv/Fm$ ) são considerados de plantas

estressadas, pois valores inferiores a 0,75 indicariam a ocorrência de danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese no fotossistema II. Cabe salientar que o menor valor observado da relação  $F_v/F_m$  (0,5025) ocorreu na medição das plantas sobreviventes do bloco 3, as quais também apresentaram reduzido desempenho de crescimento, como produto de uma fotossíntese ineficiente.

Rendimentos quânticos máximos do PSII ( $F_v/F_m$ ) semelhantes e compreendidos entre os valores considerados não estressantes para as plantas (0,75 a 0,85), de dois clones de *Eucalyptus* sp. estabelecidos no campo, em duas épocas do ano (seca e chuvosa), foram verificados por Tatagiba e Pezzopane (2007), evidenciando que a deficiência hídrica no solo e as condições climáticas, não foram suficientes para provocar danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese no PSII.

A taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) não apresentou diferença significativa entre os blocos, ou tendência que permita explicar os resultados (Tabela 21).

#### 5.5.5 Análise de Correspondência Canônica (CCA)

Os resultados da Análise de Correspondência Canônica (CCA) indicaram a influência das variáveis físicas do solo (microporosidade - Micr20 e teor de argila - Argil20), sobre as variáveis morfofisiológicas das mudas de *C. trichotoma*. Os dois primeiros eixos explicaram 96,1% da variância dos dados (eixo 1 = 86,6% e eixo 2 = 9,5%), indicando que as variáveis físicas do solo utilizadas foram eficientes para explicar o comportamento das plantas, com significância de 2,5% de probabilidade de erro pelo teste de Monte Carlo (Apêndice 19).

A Micr20 ficou bem correlacionada com ambos os eixos 1 e 2, enquanto Argil20, principalmente com o eixo 1 de ordenação (Tabela 22), ambas variáveis consideradas na profundidade de 0 a 20 cm. A maior microporosidade explica melhor o bloco 3, também corroborada pelo maior teor de argila, o qual também explica a situação do bloco 4, conforme é possível visualizar no diagrama de ordenação (Figura 8). Em outro extremo, os blocos 1 e 2 são explicados pelos baixos valores de ambas variáveis supracitadas.

O maior número de microporos, bem como o maior teor de argila, contribui para o aumento da retenção de água no solo (FLOSS, 2006; GIÁCOMO et al., 2015), portanto, corroborando observações visuais e saturação hídrica temporária no bloco 3. Assim, o excesso de umidade influenciou de forma negativa na sobrevivência (Tabela 19) e no crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma* (Tabela 20).

Tabela 22 – Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (CCA). Dados obtidos em um plantio de mudas de *C. trichotoma*, Santa Maria, RS.

Variável	Eixo 1	Eixo 2
Areia20	-0,219	-0,197
Silte20	-0,052	0,163
Argil20	0,435	-0,093
Micr20	0,857	-0,499

Areia20 = teor de areia na camada de 0,0 a 0,20 m; Silte20 = teor de silte na camada de 0,0 a 0,20 m; Argil20 = teor de argila na camada de 0,0 a 0,20 m; Micr20 = microporosidade na camada de 0,0 a 0,20 m.

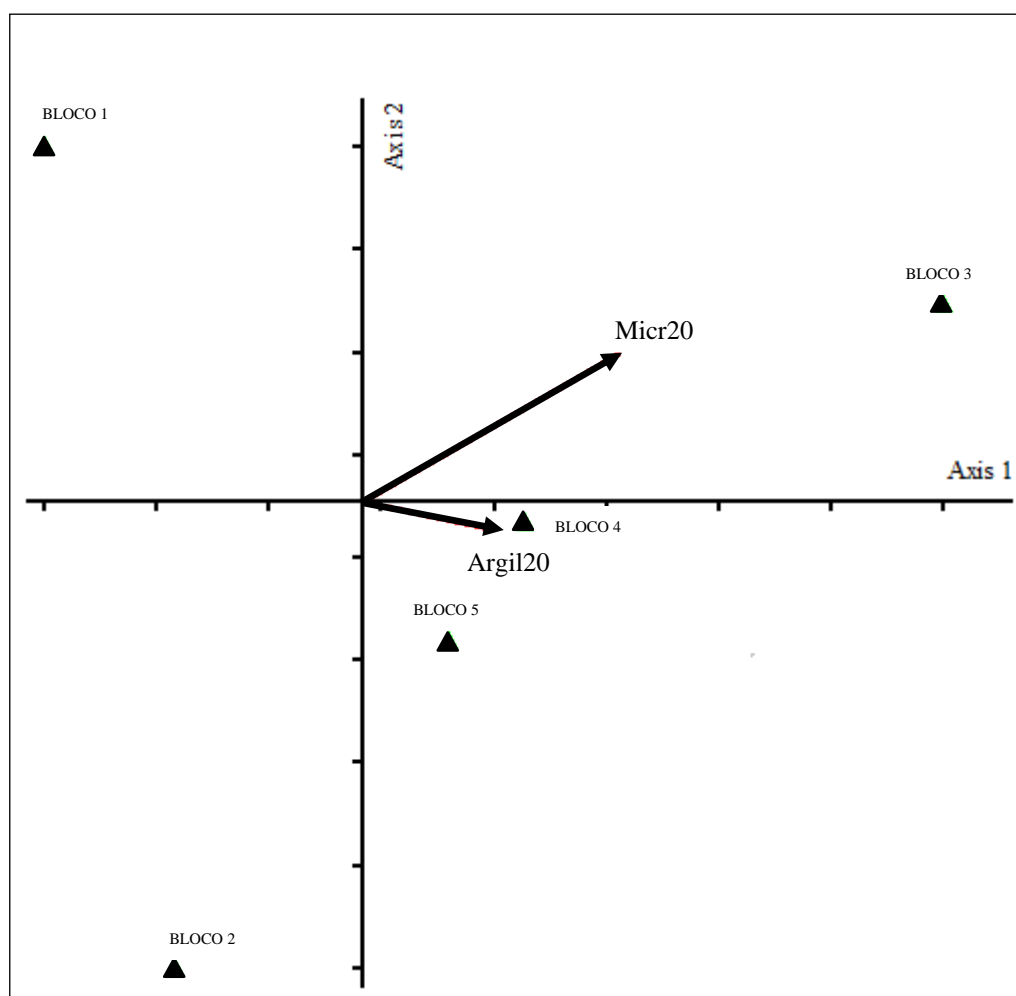


Figura 8 – Diagrama de ordenação produzido pela Análise de Correspondência Canônica (CCA) para os dois primeiros eixos, entre os blocos analisados com as variáveis físicas do solo, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS. Em que: Axés: eixos; Argil20 = teor de argila na camada de 0,0 a 0,20 m; Micr20 = microporosidade na camada de 0,0 a 0,20 m.

Pode-se constatar que, apesar da proximidade dos blocos 1 e 2 em relação ao bloco 3, os resultados de sobrevivência e crescimento foram expressivamente superiores nestas áreas, o que vem a corroborar com a afirmação de Carvalho (2003), de que a espécie é influenciada inclusive por reduzidas variações locais do solo.

Alto índice de mortalidade (53,3%) em plantas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, que estavam submetidas à saturação hídrica, foi da mesma forma observado por Costa et al. (2006), indicando que a espécie apresenta intolerância à inundação, fato também verificado em plantas jovens da espécie arbórea *Aegiphila sellowiana* Cham., em que Medri et al. (2012) observaram um efeito severo do alagamento do solo sobre a sobrevivência das plantas (mortalidade de 53,3%). Estas duas pesquisas encontraram resultado de mortalidade inferior ao observado no bloco 3 deste estudo com *C. trichotoma*.

Alto percentual de mortalidade foi da mesma forma observado em mudas de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. submetidas ao alagamento (HENRIQUE et al., 2010), o que explica, segundo os autores, a baixa frequência das mesmas em planícies de inundação, divergindo do que foi observado por Batista et al. (2008), com *Cecropia pachystachya* Trec., por Kolb et al. (1998), com *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs, bem como por Oliveira e Joly (2010) com plantas de *Calophyllum brasiliense* Camb., que não apresentaram mortalidade sob saturação hídrica, sendo todas, segundo os autores, espécies típicas de planícies de inundação ou áreas ciliares.

O excesso de umidade ocasiona a hipóxia, que é o estado de baixo teor de oxigênio nos tecidos orgânicos, que provoca variações na respiração aeróbia, interferindo no crescimento e desenvolvimento das diferentes partes da planta, em função da redução na produção de fotoassimilados, causada pela menor taxa fotossintética (FERNÁNDEZ, 2006; PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006).

Consequentemente, o excesso de umidade no solo afeta a assimilação do nitrogênio pelas plantas, causando drásticas reduções na atividade da enzima redutase do nitrato, a partir da ausência de oxigênio nos macro e microporos do solo (BOTREL; MAGNÉ; KAISER, 1996). Como o nitrogênio é um dos nutrientes essenciais para o crescimento, o excesso de água afeta indiretamente o desenvolvimento das plantas.

Portanto, a hipóxia pode ser a causa da morte das plantas de *C. trichotoma* no bloco 3. Isso pode ser explicado pelo fato de que a falta de oxigênio em ambientes com excesso de umidade afeta o crescimento e desenvolvimento de diferentes partes da planta (ARMSTRONG; BRAENDLE; JACKSON, 1994; MEDRI et al., 1998; DAVANSO et al.,

2002; PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006), pois provoca alterações na fotossíntese (PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006; FERNÁNDEZ, 2006).

Menores valores em altura e diâmetro do coleto de plantas de *Schizolobium parahyba* submetidas a condições de excesso de umidade do solo foram da mesma forma observados por Costa et al. (2006), que salientaram que a espécie apresenta dificuldades de tolerância à inundação, coincidindo com o que foi observado para *C. trichotoma* neste estudo.

Menor crescimento em solos com baixa tensão de oxigênio também foi observado por Medri et al. (1998), ao estudarem os efeitos do alagamento em *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. e por Oliveira (2010), em plantas de *Campomanesia adamantium* (Camb.) O. Berg..

Efeito negativo de maiores conteúdos de água no solo associada à compactação, ocasionando redução da produção de matéria seca e densidade radicular, foi observado por Silva, Barros e Vilas Boas (2006), ao avaliarem a influência de pressões de compactação do solo com diferentes umidades, sobre o crescimento e nutrição de mudas de *Eucalyptus*.

Discretos efeitos do alagamento do solo sobre o desenvolvimento de espécies arbóreas foram observados por Davanso et al. (2002), em *Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb, assim como Batista et al. (2008), em *Cecropia pachystachya*, discordando com o que foi observado neste estudo.

A diminuição do crescimento de alguns órgãos de plantas submetidas ao alagamento pode ser uma estratégia para economizar energia e manter um funcionamento mínimo do metabolismo nas regiões mais afetadas pela hipóxia (ARMSTRONG; BRAENDLE; JACKSON, 1994), o que pode explicar as condições apresentadas pelas plantas sobreviventes do bloco 3.

O aumento do índice de esclerofilia das folhas de plantas sob alagamento, possivelmente provoca redução na perda de água, e assim, contribui para que a queda da condutância estomática e da taxa fotossintética não seja ainda maior (MEDRI et al., 2011). Folhas mais grossas e coriáceas foram verificadas nas plantas de *C. trichotoma* sobreviventes do bloco 3.

Os resultados das variáveis de fluorescência da clorofila *a* apresentaram algumas variações nas áreas analisadas, uma vez que plantas em ambientes com excesso de umidade podem ter seu crescimento e desenvolvimento prejudicados, pois a hipóxia pode provocar variações na fotossíntese (PRYOR; DAVISON; CLOSE, 2006). O maior valor de *F0* observado nas plantas do bloco 3 (Tabela 21) indica a redução do rendimento quântico, o que possivelmente influenciou negativamente no crescimento das plantas de *C. trichotoma*.

No caso de plantas de *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer submetidas ao estresse hídrico por falta de água, Mantoan (2013) não observou diferenças nos resultados de  $F_0$  entre os tratamentos. Para as plantas irrigadas os valores de  $F_0$  variaram de 245 a 280 e para as plantas submetidas à suspensão de irrigação, de 234 a 305. Isto contribuiu para enfatizar a ausência de dano ao PSII, uma vez que o aumento desta variável serve como um indicativo de que houve dano ao centro de reação do PSII (ZLATEV; YORDANOV, 2004).

Não foram observadas alterações nos valores de rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em plantas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. irrigadas e sob estresse hídrico, por Queiroz, Garcia e Lemos Filho (2002), divergindo do que foi observado neste estudo.

Gonçalves et al. (2012) observaram em plantas totalmente alagadas de *Genipa spruceana* Steyerl valores menores do que 0,4 para a relação  $F_v/F_m$ , considerados muito baixos pelos autores, indicando a diminuição na capacidade do PSII reduzir o acceptor primário da quinona A. A conectividade entre os sistemas antena do fotossistema II é muito sensível ao alagamento, podendo ser utilizado para identificar o grau de suscetibilidade ou tolerância ao estresse (PANDA et al., 2006).

Mantoan (2013) não encontrou diferenças na taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) entre os tratamentos, ao analisar a capacidade de recuperação de *Annona emarginata* após estresse hídrico, demonstrando a capacidade da espécie em tolerar o estresse, fato igualmente observado neste estudo.

Portanto, a espécie *C. trichotoma* apresentou crescimento reduzido e alta mortalidade das mudas no bloco 3, na qual a maioria das plantas morreu em curto período de tempo, enquanto outras foram capazes de sobreviver, porém com o crescimento prejudicado. Estes resultados indicam que a espécie estudada é intolerante a ambientes com excesso de umidade, causada principalmente em função do maior teor de microporos e de argila na área, corroborando com Lorenzi (1992), que afirma que o louro-pardo não se adapta a solos muito úmidos, bem como com Carvalho (2003), que considera que a espécie prefere solos profundos e bem drenados.



## 5.6 Conclusões

O aumento da microporosidade e da fração argila na profundidade de 0 a 20 cm é condição inadequada à sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *C. trichotoma*, tendo em vista a reduzida drenagem do solo.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Cordia trichotoma* é uma espécie que, apesar da emergência lenta, atinge em torno de 18 cm de altura e 4 mm de diâmetro do coleto aos 180 dias após a emergência, sob 4 mm de irrigação diária nos primeiros 60 dias, sequencialmente nos 120 dias seguintes com irrigação de 8 mm dia<sup>-1</sup>. Essa demanda é intermediária quando comparada a Dutra (2012), que constatou que 4 mm dia<sup>-1</sup> constante para mudas de *Parapiptadenia rigida*, e Navroski et al. (2014 ou 2015), que estudando *Eucalyptus dunnii* verificaram a demanda diária de 16 mm dia<sup>-1</sup>. Conforme foi possível constatar, *C. trichotoma* é uma espécie responsiva ao estresse, como pode ser verificado na lâmina de 4 mm contínuo, sob acréscimo de 12 mm, em qualquer uma das fases, assim como na dose de 4,5 g L<sup>-1</sup> de polímero hidrotentor. Diante dessas situações, a espécie buscou reverter o estresse por meio do aumento do sistema radicular sob a baixa irrigação, ou aumento da área foliar, possivelmente como estratégia de otimizar a evapotranspiração, reduzindo a água do meio.

Com relação ao efeito do sombreamento sobre o crescimento inicial a campo, de mudas de *C. trichotoma*, a espécie mostrou capacidade de se adaptar às diversas condições de luminosidade. No pleno sol a espécie não apresenta desenvolvimento da parte aérea satisfatório, o que a compromete frente às plantas herbáceas competidoras. Por outro lado, sob sombreamento mais intenso, proporciona elevado crescimento da parte aérea da planta, sem que isso represente proporcional crescimento do sistema radicular. Isso conduz ao questionamento, por quanto tempo esse sistema radicular é capaz de suprir a demanda nutricional e hídrica das plantas, além de dar sustentação à planta, nessa condição. Assim, sombreamentos intermediários (de 18 a 50%), além de permitir crescimento expressivo da parte aérea, também apresentam mais alta taxa de transporte de elétrons, o que influencia positivamente na eficiência fotossintética da planta.

Contudo, uma alternativa de utilização de áreas de reserva legal, é o enriquecimento de florestas, com abertura de linhas no interior de capoeiras para plantio da *C. trichotoma*, o que induzirá seu rápido crescimento inicial. Posteriormente, pode-se aumentar essa abertura, o que possivelmente reduziria o incremento em altura e proporcionaria aumento do diâmetro e do sistema radicular, obtendo-se com isso um produto florestal de alta qualidade.

Entretanto, ressalta-se que solos com elevada microporosidade e teor de argila, bem como reduzida drenagem, não devem ser utilizados para o plantio *C. trichotoma*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AGUIAR, F. F. A. et al. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011.

AIMI, S.C. **Tecnologia de sementes e crescimento inicial de mudas de *Cabralea canjerana*** (Vell.) Mart. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

AJALA, M. **Efeito do volume do recipiente na formação de mudas e de hidrogel na implantação de *Jatropha curcas* L.** 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2009.

ALLEN, J. A.; PEZENSKY, S. R.; CHAMBERS, J. L. Interaction of flooding and salinity stress on balcypress (*Taxodium distichum*). **Tree Physiology**, v. 16, p. 307-313, 1996.

ALMEIDA, L. P. et al. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 83-88, 2004.

ALMEIDA, S. M. Z. et al. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.1, p. 62-68, 2005.

ALVARENGA, A. A. et al. Desenvolvimento de mudas de Guarea [*Guarea guidonea* (L.) Sleumer]. **Revista Daphne**, Belo Horizonte, v. 8, n. 3, p. 22-26, 1998.

ALVARENGA, A. A. et al. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 53-57, 2003.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, E. C. M. **Fotoinibição em espécies vegetais lenhosas, induzida por atrazina e avaliada por meio da fluorescência da clorofila.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 159). 17 p.

ARAÚJO, R. A. et al. Características Biométricas, índice SPAD-502 e emissão da fluorescência em porta-enxertos de citros. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 294, p. 189-199, 2004.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.

ARMSTRONG, W.; BRAENDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 43, n. 4, p. 307-358. 1994.

ATROCH, E. M. A. C. et al. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas de *Bauhinia forficata* submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2001.

AVILA, A. L. et al. Agrupamentos florísticos na regeneração natural em remanescente de Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 331-342, 2011.

AZEVEDO, G. T. O. S. **Produção de mudas clonais de *Eucalyptus* spp. com polímero hidrorretentor incorporado ao substrato.** 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

AZEVEDO, G. T. O. S. et al. Desenvolvimento de mudas de Nim Indiano sob diferentes níveis de sombreamento. **Floresta e Ambiente**, v.22, n. 2, p. 49-255, 2015.

AZEVEDO, M. I. R. **Qualidade de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich.) produzidas em diferentes substratos e tubetes.** 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul: Guia de identificação e interesse ecológico.** Porto Alegre, Instituto Souza Cruz, Clube das Árvores, 2002.

BAGGIO, A. J. et al. **Relatório sobre experiências na implantação de unidades de referência tecnológica em sistemas agroflorestais, no Projeto Iguatú II.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 42 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 181).

BARBOSA, T. C.; RODRIGUES, R. R.; COUTO, H. T. Z. Tamanhos de recipientes e o uso de hidrogel no estabelecimento de mudas de espécies florestais nativas. **Hoehnea**, v. 40, n. 3, p. 537-556, 2013.

BARONI, A. M. **Caracterização do sistema fotossintético em folhas de plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil).** 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, Água Funda, São Paulo, 2005.

BARROS, F. V. et al. Phenotypic plasticity to light of two congeneric trees from contrasting habitats: Brazilian Atlantic Forest versus cerrado (savanna). **Plant Biology**, Alemanha, v. 14, n. 1, p. 208-215, 2012.

BATISTA, C. U. N. et al. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.

BATISTA, N. de A. B. **Arquitetura de espécies arbóreas numa floresta estacional semidecidual do sul do Brasil**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

BEHLING, M. et al. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 837-846, 2014.

BENINCASA, M. M. P.; LEITE, I. C. **Fisiologia vegetal**. Jaboticabal: Funep, 2002. 169 p.

BERNARDI, M. R. et al. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 67-74, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BERTOLINI, I. C. et al. Crescimento inicial em altura de 16 espécies florestais nativas plantadas na região Sudoeste do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4, 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR, 2012.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 7, n. 1/2, p. 109-121, 1998.

BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Planta**, v. 161, p. 490-504, 1984.

BOCZÓN, A.; WRÓBEL, M.; WIESŁAW, P. Effects of hydrogel application on growth of seedlings on unproductive forest areas. **Ekologija**, Warszawa (Poland), v. 55, n.1, p. 9-19, 2009.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

BOTREL, A.; MAGNÉ, C.; KAISER, W. M. Nitrate reduction, nitrite reduction and ammonium assimilation in barley roots in response to anóxia. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 645-652, 1996.

BRAGA, A. J. T. Influência dos fatores edáficos na variação florística de floresta estacional semidecidual, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 4, p. 623-633, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de silvicultura com espécies nativas e sistemas agroflorestais – PENSAF**. Brasília, 2007.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 5 ed. Trad. A. B. N. Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1979. 647p.

BUZETTO, F. A.; BIZON, J. M. C.; SEIXAS, F. **Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio**. Piracicaba, IPEF, 2002. 5p. (Circular Técnica, 195).

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.

CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 03, p. 281-288, 2002.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: Considerações teóricas e aplicações práticas**. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Apostila, 2001.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARON, B. O. et al. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.

CARVALHO, N. O. S. et al. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC.) em diferentes níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 351-357, 2006.

CARVALHO, P. E. R. “**Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**”. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. Produção de mudas de espécies nativas por sementes e a implantação de povoamentos. In: GALVÃO A.P.M. (Org.). **Reflorestamento de propriedade rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. p. 151-174.

CARVALHO, P. E. R. **Louro pardo**. Colombo, PR: EMBRAPA, 2002. 16p. (Circular Técnica, 66).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA/CNPR, Brasília: EMBRAPASPI, v.1, 2003. 1039 p. il.

CECONI, D. E. et al. Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2008.

CEVOLANE, N. S. et al. Fluorescência da clorofila a em mudas de *Dalbergia nigra* [(Vell) Fr. Allem.] (Leguminosae) submetidas ao déficit hídrico. In: Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental, 2011, Guarapari – ES. **Anais ...** Guarapari: ES, 2011.



CHAVES, A. S.; PAIVA, H. N. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 65, p. 22-29, 2004.

CHEN, H.; QUALLS, R. G.; BLANK, R. R. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. **Aquatic Botany**, v. 82, p. 250-268, 2005.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

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.

COSTA, A. M. et al. O efeito da inundação do solo sobre o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, guapuruvu. **Natureza on line**, Santa Tereza, v. 4, n. 1, p. 7-13, 2006.

DAVANSO, V. M. et al. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellaneda* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 375-384. 2002.

DAVIDE A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Eds). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 1 ed., 2008. cap. 2, p. 83-124.

DELGADO, L. G. M. **Produção de mudas nativas sob diferentes manejos hídricos**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

DENNIS, E. S. et al. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 342, p. 89-97, 2000.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Efeito da nebulosidade nos parâmetros da fluorescência em *Minuartia guianensis* Aubl. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 54-56, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 24).

DRANSKI, J. A. L. **Sobrevivência e crescimento inicial de pinhão-mansão em função da época de plantio e do uso de hidrogel**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2010.

DRANSKI, J. A. L. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de pinhão-mansão em função da época de plantio e do uso de hidrogel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 489-498, 2013.

DUTRA, A. F. **Produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SANTANA, R. C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1212-1218, 2012.

ECCO, M. **Respostas biométricas e de fluorescência da clorofila *a*, em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio.** 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Aquidauana, MS, 2012.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina. Curitiba, 1988. 89 p. (Documentos, 21).

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

FARIA, R. A. V. B. et al. Correlação espécie-ambiente em descrição e análise da vegetação. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15; p. 528-542, 2012.

FELIPPI, M. **Morfologia e silvicultura de espécies arbóreas da floresta estacional decidual.** 2010. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

FELIPPI, M. et al. Fenologia, morfologia e análise de sementes de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 631-641, jul.-set., 2012.

FERNÁNDEZ, M. D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica**, v. 44, p. 32-38, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, F. G. et al. Comunidade lenhosa de cerrado sentido restrito sobre neossolo flúvico em Paracatu-MG. **Rev. Biol. Neotrop.**, v.11, n. 2, p. 129-142, 2014.

FERREIRA, I. C. de M. et al. Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1319-1327, set. 2007.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: van LIER, Q. J. **Física do Solo**. SBCS. 2010. p. 1-28. 298 p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê.** Passo Fundo: UPF, 2006. 751 p.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneurom* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, 2000.

FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, v. 34, n. 2, p. 135-144, 2007.

FREITAG, A. S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* em viveiro.** 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

FREITAS, G. A. et al. Influência do sombreamento na qualidade de mudas de *Sclerobium paniculatum* Vogel para recuperação de área degradada. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 5-12, 2012.

FREITAS, M. L. M. et al. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 95-102, 2006.

GANDOLFI, S. **História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas (São Paulo, Brasil).** 2000, 520 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GASPARIN, E. **Armazenamento de sementes e produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan.** 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

GASPER, A. L. et al. Variação da estrutura da floresta estacional decidual no estado de Santa Catarina e sua relação com a altitude e clima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 77-89, jan.-mar., 2015.

GIÁCOMO, R. G. et al. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 617-631, jul.-set., 2015.

GOMES, D. R. **Resposta de mudas clonais de eucalipto cultivadas com hidrorretentor em diferentes níveis de disponibilidade hídrica.** 2013. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

GOMES, E. C. **Avaliação de doses do polímero “hidratassolo” na produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth) sob diferentes frequências de irrigação, em dois solos do cariri cearense.** 2007. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2006.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (Propagação sexuada)**. Cadernos didáticos, 72. Viçosa: UFV, 1ª ed., 2011. 116 p.

GONÇALVES, J. F. C. et al. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila *a* de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, v. 40, n.1, p. 89-98, 2010.

GONÇALVES, J. F. C. et al. Estratégias no uso da energia luminosa por plantas jovens de *Genipa spruceana* Steyererm submetidas ao alagamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 391-398, 2012.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, Cap. 8, p. 219-265, 2005.

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, Cap. 11, p. 310-344, 2005.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and Interpretation. **Tree Planters' Notes**, Washington, v. 52, p. 24-30, 2008.

HENRIQUE, P. C. et al. Características fisiológicas e anatômicas de plantas de sibipiruna submetidas à hipoxia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 70-76, 2010.

HIGUCHI, P. et al. Partição espacial de espécies arbóreas em função da drenagem do solo em um fragmento de floresta com araucária no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 421-429, 2014.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1132-1334, 1979.

INOUE, M. T.; TORRES, D. V. Comportamento do crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em dependência da intensidade luminosa. **Revista Floresta**, v. 11, p. 7-11, 1980.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS, BRASIL. **Identificação de Espécies Florestais**. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=25>>. Acesso em: 09 out. 2014.

JESUS, R. M. et al. Efeito do tamanho do recipiente, tipo de substrato e sombreamento na produção de mudas de Louro (*Cordia trichotoma* Vell). Arráb. e Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). **Revista do IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 13-19, 1987.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

JUNG, L. H. **Irrigação no desenvolvimento inicial de dois híbridos de eucalipto**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2013.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnica de preparo de substratos**. Brasília (DF): LK Editora e Comunicação, 2006, 132 p.

KIRITOSHI, Y.; ISHIHARA, K. Synthesis of hydrophilic cross-linker having phosphorylcholine-like linkage for improvement of hydrogel properties. *Polymer*, [S. l.], v. 45, p. 7499-7504, 2004.

KOLB, R. M. et al. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, p. 305-312, 1998.

LANA, M. do C.; LUCHESE, A. V.; BRACCINI, A. de L. Disponibilidade de nutrientes pelo fertilizante de liberação controlada Osmocote e composição do substrato para produção de mudas de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v. 9, n. 1, p. 68-81, 2010.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling processing, storage, and outplanting**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RIMA, 2006.

LEE, D.W. et al. Irradiance and spectral quality affect Asian tropical rain forest tree seedling development. **Ecology**, v. 77, p. 568-580, 1996.

LEMOS-FILHO, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 45-50, mar. 2000.

LENHARD, N. R. **Crescimento inicial de mudas de *Caesalpinia ferrea* ex. Tul var. *leiostachya* Benth - Caesalpinaceae (Pau Ferro) sob diferentes regimes hídricos e sombreamento**. 2008. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2008.

LEONG, W. **Canopy modification and its effects on the growth and yield of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.** 1980. 283 p. Thesis (Ph.D.) - Faculty of Agriculture Sciences of Ghent, Ghent.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol**, v. 148, p. 350–382, 1987.

LIER, Q. J. Gases no solo. In: van LIER, Q. J. **Física do Solo**. SBCS. 2010. p. 153-176. 298 p.

LIMA, A. L. da S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. de. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)

Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43-48, 2010.

LIMA, M. A. O. et al. Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 527-534, 2010.

LIMA, M. C. et al. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em *Achillea millefolium* L. cultivada sob diferentes níveis de sombreamento e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 45-50, jan. 2011.

LIMA JUNIOR, 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.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 633 – 662, 1994.

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

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOPES, J. L. W. **Qualidade e mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos**. 2008. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

LOPES, J. L.W. et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, abr./jun. 2010.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. R. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.

LOPES, V. G. et al. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 569-578, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

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

LU, D.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.

MAJEROWICZ, N. et al. **Fisiologia vegetal** – curso prático. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 2003. 138 p.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. de M. Efeito do volume do tubete no crescimento inicial de plântulas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud e *Jacaranda micrantha* Cham. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2006.

MALDONADO-BENITEZ, K. R. et al. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato com hidrogel y riego, en vivero. **Agrociencia**, v. 45, p. 389-398, 2011.

MANTOAN, L. P. B. **Recuperação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer submetidas a estresse hídrico**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MATTOS, R. B. de; DURLO, M. A; LÚCIO, A. D. Possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas da região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 132, n. 2, p. 111-120, 2003.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 659-668, 2000.

McCUNE, B.; GRACE, J. B. **Analysis of ecological communities**. Oregon: MJM Software, 2002. 300 p.

McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. **PC-ORD: multivariate analysis of ecological data. Version 5**. Oregon: USA, MjM Software, 2006. CD-ROM.

MEDRI, C. et al. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 445-454, 2011.

MEDRI, C. et al. O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae). **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-134, jan./jun. 2012.

MEDRI, M. E. et al. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. submetida ao alagamento e aplicação de ethrel. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, p. 261-267, 1998.

MEWS, C. L. 2014. **Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas em viveiro em função da incorporação de polímero hidroretentor ao substrato e adubação nitrogenada.** 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

MEWS, C. L. et al. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107-116, 2015.

MEYER, S.; GENTY, B. 1999. Heterogeneous inhibition of photosynthesis over the leaf surface of *Rosa rubiginosa* L. during water stress and abscisic acid treatment: induction of a metabolic component by limitation of CO<sub>2</sub> diffusion. **Planta**, 210, p. 126-131, 1999.

MORAIS, W. W. C. et al. Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 23 - 28, 2012.

MORALES, C. A. S. et al. Qualidade do solo e produtividade de *Pinus taeda* no planalto catarinense. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 629-640, out.-dez., 2010.

MOREIRA, R. A. et al. Efeito de doses de polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 8, p. 133-139, 2010.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 83 p.

MORENO-FONSECA, L. P. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Uma revisión. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 27, n. 2, p. 179-191, 2009.

MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; HEINZ, R. Sombreamento na emergência de plântulas e no crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 423-431, jul.-set., 2012.

NAGAKURA, J. et al. Growth and transpiration of japonese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtuse*) seedlings in response to soil water content. **Tree Physiol.**, v. 24, p. 1203-1208, 2004.

NAVROSKI, M. C. **Hidrogel como condicionador de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2013. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

NAVROSKI, M. C. et al. Influência do polímero hidroretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 02, p. 108-113, abr./jun. 2014.

NAVROSKI, M. C. et al. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 467-476, jun. 2015.

NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS, A. C. de S. **Coleta de Sementes Florestais Nativas.** 1ª ed. Colombo, PR, 2007. (Circular Técnica Embrapa Florestas, 144).



NOVAES, A. B. et al. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho no campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, nov./dez. 2002.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, v. 6, n. 2, p. 90-103, 2011.

OLIVEIRA, L. J. **Assimilação do nitrato em *Campomanesia* sp. submetida a diferentes condições de disponibilidade hídrica.** 2010. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Câmpus Jataí, 2010.

OLIVEIRA, R. B. et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 122-128, 2008.

OLIVEIRA, V. C.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Callophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, Vancouver, v. 24, p. 185-193, 2010.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants.** 3 ed. San Diego, Elsevier, Academic Press, 2008. 454 p.

PANDA, D. et al. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: probing of submergence driven changes of photosystem 2 by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transients. **Photosynthetica**, v. 44, n. 1, p. 69-75, 2006.

PAULA, S. M. et al. Desempenho fotossintético de folhas jovens e maduras de *Vochysia cinnamomea* (Vochysiaceae) em áreas de cerrado rupestre intactas e pós-queimada. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 591-600, 2015.

PAULUS, E. **Preparo do solo no estabelecimento inicial da nogueira-pecã *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch em argissolo vermelho no Rio Grande do Sul.** 2015. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PIZZANI, R. **Produção e qualidade de forragens e atributos de um Argissolo Vermelho.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PIZZANI, R. **Atributos do solo e desempenho da cultura do milho sob diferentes alturas de massa de forragem pós-pastejo.** 2012. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

POGGIANI, F.; BRUNT, S.; BARBOSA, E. S. Q. Efeito do sombreamento sobre o crescimento das mudas de três espécies florestais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, p. 564-569, 1992.

POLETTI, I. et al. Influência da inoculação de *Fusarium* spp. e níveis de sombreamento no crescimento e desenvolvimento da erva-mate. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 513-521, 2010.

POORTER, L.; BONGERS, L.; BONGERS, F. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. **Ecology**, v. 87, p. 1289-1301, 2006.

PORTELA, F. C. S. **Influência da luminosidade na fisiologia e morfoanatomia de jequitibá branco** (*Cariniana estrellensis* (Raddi.) Kuntze) e **jequitibá rosa** (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze). 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

PORTELA, R. C. Q.; SILVA, I. L.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. em diferentes condições de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001.

PRADO, C. H. B. A.; CASALI, C. A. **Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri, SP, Editora Manole Ltda., 2006. 466 p.

PRYOR, R. J.; DAVISON, N. J.; CLOSE, D. C. Waterlogging duration; Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R.Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus abliqua* (L'Herit). **Austral Ecology**, v. 31, p. 408-416, 2006.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 14, n. 1, p. 59-63, 2002.

RADOMSKI, M. I. et al. **Louro-pardo** (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.) em **sistemas agroflorestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. (Embrapa Florestas, Documentos, 242).

RAMOS, K. A. **Disponibilidade hídrica e hidrorretentores na produção de mudas clonais de eucalipto**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

REGO, G. M.; POSSAMAI, E. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do jequitibá-rosa. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 53, p. 179-194, 2006.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SUDESUL, 1988. 525 p.

RENNER, R. M. et al. **Programa Mata Ciliar no Estado do Paraná: comportamento de espécies florestais plantadas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 38 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 196).

RIBEIRO, R. V. Avaliação da atividade fotossintética por meio de medidas de trocas gasosas, evolução de oxigênio e fluorescência da clorofila. Editora Manole, 2008, 20 p. Disponível em: <http://fisiologiavegetal.manole.com.br/textos%20corrigidos/avafotrafa.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014. 2008.

RIBEIRO, R.V. et al. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, p. 149-161, 2005.

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

RITCHIE, G. A. et al. Assessing Plant Quality. In: Landis, T.D.; Dumroese, R.K.; Haase, D.L. **The Container Tree Nursery Manual**. v. 7, Agriculture Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, cap. 2, p. 19-81, 2010.

RODRIGUES, L. A. et al. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 25-35, 2007.

RODRIGUES, S. B. S. **Análise do uso de água em unidades de produção de mudas de eucalipto**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

ROMAN, M; BRESSAN. D. A. B.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

ROSA, L. dos S. et al. Emergência, crescimento e padrão de qualidade de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke sob diferentes níveis de sombreamento e profundidades de semeadura. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 87-98, 2009.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625 p.

SALVADORI, S. L. et al. Análise de sobrevivência e crescimento de *Cordia trichotoma*, Boraginaceae, Lamiales, no sul de Mato Grosso do Sul – Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 735-742, 2013.

SANTELICES, R. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. **Bosque**, v. 26, n. 3, p. 105-112, 2005.

SANTOS, D. L. et al. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 171-182, 2006.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SARVAS, M.; PAVLENDÁ, P.; TAKÁCOV, E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. **Journal of Forest Science**, Czech Republic, v. 5, p. 204-209, 2007.

SBCS/CQFS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Evangraf Ltda., 2004, 440 p.

SCALON, S. P. Q. et al. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 753-758, 2003.

SCALON, S. P. Q. et al. Crescimento inicial de mudas de sangra-d'água (*Croton urucurana* Baill.) sob sombreamento e aplicação de giberelina. **Rev. bras. plantas med.**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 61-66, 2008.

SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 169-176, 2002.

SCREMIN-DIAS, E. et al. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. v. 2. Campo Grande: Série rede de sementes do Pantanal, UFMS, 2006.

SIEBENEICHLER, S. C. et al. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Tol. em condições de luminosidade. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 467-472, 2008.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da Qualidade Física do Solo. In: van LIER, Q. J. **Física do Solo**. SBCS. 2010. p. 241-281. 298 p.

SILVA, B. M. S. S. et al. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.

SILVA, M. R. da. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. 2003. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SILVA, P. H. M. da; ANGELI, A. **Implantação e Manejo de Florestas Comerciais**. Piracicaba: IPEF, 2006. 14 p. (Documentos Florestais, 18).

SILVA, R. R. et al. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. sob influência de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 37, n.3, p. 365-370, 2007.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; VILAS BOAS, J. E. B. Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de latossolos com diferentes umidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 759-768, 2006.

SOBRAL, M. et al. **Flora arbórea e arborecente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos: RiMA/Novo Ambiente, 2006. 350 p.

SOUSA, G. T. O. et al. Incorporação de polímero hidroretentor no substrato de produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) SPEG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1270-1278, 2013.

SOUZA, G. M. et al. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham. (Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes luminosos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 474-485, 2009.

SOUZA, G. S. et al. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em alfavaca cultivada sob malhas coloridas e adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 296-306, 2011.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

STURION, J. A. Produção de sementes florestais melhoradas. In: GALVÃO, A.P.M (Org.). **Reflorestamento de propriedade rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. p. 71-75.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A.P.M (Org.). **Reflorestamento de propriedade rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. p. 125-150.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas em dois clones de eucalyptus. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 10, 2007.

TEIXEIRA, L. de J. et al. Relações entre a florística arbórea e características do solo em um fragmento de floresta atlântica, Tamandaré – PE. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 625-634, jul./set. 2010.

TEO, M. A.; CORREA, T. U.; DENARDIN, R. B. N. Efeito da aplicação do gel hidrorretentor sobre a sobrevivência de mudas de *Eucalyptus grandis* aos cinco e trinta dias pós-plantio. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal (Re.C.E.F.)**, Garça, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 40-47, 2014.

TERRACOTTEM. **Guia técnico**. Capítulo 1. Pinhais, PR. 1998. n. 45, p. 3.

THEBALDI, M. S. **Irrigação de mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 1305-1314, 2008.

TONETTO, T. S. **Tecnologia de sementes e desenvolvimento de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos sob diferentes formas de manejo no viveiro e no campo**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 199-209, 2005.

TROVÃO, D. M. B. M. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 3, p. 307–311, 2007.

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.

VENTUROLI, F. et al. Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 143-151, 2013.

VERVLOET FILHO, R. H. **Utilização de hidrorretentor em substrato semi-saturado na produção de mudas de eucalipto**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

VIDAL, C. Y. **Transplante de plântulas e plantas jovens como estratégia de produção de mudas para a restauração de áreas degradadas**. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VIEIRA, D. D. et al. A família Boraginaceae *sensu lato* na APA Serra Branca/Raso da Catarina, Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 1, p. 151-168, 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E. Mixed and monospecific stands of eucalyptus and black-wattle. I – Fine root length density. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1818-1825, 2012.

WALDHOFF, D.; FURCH, B.; JUNK, W. J. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, and anatomical features as indicators for flood adaptation of an abundant tree species in Central Amazonia: *Symmeria paniculata*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p. 225-235, 2002.

WENDLING, I.; DELGADO, M. E. **Produção de mudas de Araucária em tubetes**. Colombo: EMBRAPA, 2008. (Comunicado Técnico Embrapa Florestas, 201).

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. cap. 1, p. 13-47.

WILSEN NETO, A.; BOTREL, M. C. G. Doses de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de Pinus. **Agrarian**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 65-72, 2009.

ZLATEV, Z. S.; YORDANOV, I. T. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 30, p. 3-18, 2004.

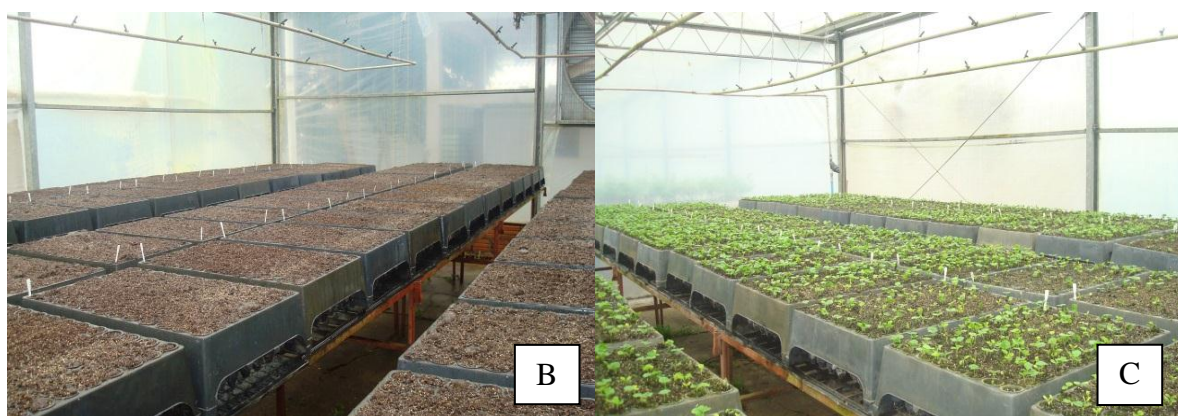




## **APÊNDICES**



**Apêndice 1 – A - Secagem dos frutos de *Cordia trichotoma*, em bandejas plásticas, à temperatura ambiente; B - bandejas com os tubetes contendo substrato e sementes de *C. trichotoma*, dispostas sobre bancadas metálicas na casa de vegetação do viveiro; C – fase de germinação das mudas de *C. trichotoma* (imagem obtida 40 dias após o início da germinação); D - bandejas com mudas de *C. trichotoma* aos 120 dias após a semeadura; E - mudas de *C. trichotoma* um dia antes da instalação do experimento.**



Apêndice 2 – A – B – Teste de Uniformidade para a determinação da irrigação, instalado na área experimental e em funcionamento; C - bandejas dispostas nos canteiros com diferentes lâminas de irrigação (imagem obtida 2 dias após a instalação do experimento); D – Experimento com 45 dias após a instalação; E - Canteiros com as mudas de *C. trichotoma* protegidas por sombrite; F – Canteiros com mudas de *C. trichotoma* cobertos com lonas plásticas; G – Canteiros com mudas de *C. trichotoma* sendo irrigados em dia de precipitação.



**Apêndice 3 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para as variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC das mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrotentor e diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		H	DC	H/DC
Lâminas de irrigação (LI)	5	28,5095*	0,1348 <sup>ns</sup>	2,1524*
Resíduo 1	18	6,4185	0,1337	0,3248
Dose polímero (DP)	3	20,7996*	0,2576 <sup>ns</sup>	0,6890 <sup>ns</sup>
LI x DP	15	12,5503*	0,1726 <sup>ns</sup>	0,6291*
Resíduo 2	30	2,4332	0,1411	0,2877
CV (%)		9,73	9,69	12,83
Média geral		16,0303	3,8763	4,1789

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação.

**Apêndice 4 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência das doses do polímero hidrotentor e lâminas de irrigação no crescimento de mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)						
		MSPA	AF	NF	MSR	MST	MSPA/MSR	IQD
Lâmina de irrigação (LI)	5	0,211*	2,591 <sup>ns</sup>	3,997 <sup>ns</sup>	0,803*	0,269*	0,075 <sup>ns</sup>	2,556*
Resíduo 1	18	0,057	1,630	4,675	0,183	0,062	0,044	0,391
Dose polímero (DP)	3	0,695*	7,106 <sup>ns</sup>	2,356 <sup>ns</sup>	0,572 <sup>ns</sup>	0,425*	0,101 <sup>ns</sup>	1,535 <sup>ns</sup>
LI x DP	15	0,150 <sup>ns</sup>	1,985 <sup>ns</sup>	4,284 <sup>ns</sup>	0,442 <sup>ns</sup>	0,182 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,947 <sup>ns</sup>
Resíduo 2	30	0,115	1,413	2,845	0,329	0,120	0,093	0,717
CV (%)	-	40,79	17,33	27,66	50,80	30,58	29,62	28,09
Média	-	0,467	38,50	6,10	0,476	0,942	1,029	0,184

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação; MSPA = massa seca da parte aérea; AF = área foliar; NF = número de folhas; MSR = massa seca radicular; MST = massa seca total; MSPA/MSR = relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular; IQD = índice de qualidade de Dickson.

**Apêndice 5 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para fluorescência inicial ( $F_0$ ), rendimento quântico máximo ( $F_v/F_m$ ) e taxa de transporte de elétrons ( $ETR$ ) das mudas de *C. trichotoma* em função das doses de polímero hidrorretentor e diferentes lâminas de irrigação, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		$F_0$	$F_v/F_m$	$ETR$
Lâminas de irrigação (LI)	5	0,0274*	0,006 <sup>ns</sup>	42,5392*
Resíduo 1	18	0,0016	0,002	1,1478
Dose polímero (DP)	3	0,0041*	0,003 <sup>ns</sup>	2,8973 <sup>ns</sup>
LI x DP	15	0,0028*	0,002 <sup>ns</sup>	2,3062 <sup>ns</sup>
Resíduo 2	30	0,0013	0,001	2,0654
CV (%)		1,82	13,63	16,64
Média geral		79,64	0,6771	49,88

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação.

**Apêndice 6 – Atributos do solo no qual foi feito o plantio a campo de mudas de *C. trichotoma* sob diferentes intensidades de sombreamento, Santa Maria, RS.**

Amostra	pH água 1:1	MO (%)	Índice SMP	Textura	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC pH7	P mehlich	K
1	5,0 <sup>MB*</sup>	1,2 <sup>B</sup>	5,9	3	4,0 <sup>M</sup>	1,5 <sup>A</sup>	0,5	4,9	10,5 <sup>M</sup>	2,2 <sup>MB</sup>	64,0 <sup>A</sup>
2	5,5 <sup>M</sup>	0,9 <sup>B</sup>	6,5	3	5,9 <sup>A</sup>	2,0 <sup>A</sup>	0,0	2,5	10,5 <sup>M</sup>	3,0 <sup>MB</sup>	72,0 <sup>A</sup>
3	5,5 <sup>M</sup>	1,1 <sup>B</sup>	6,5	3	5,8 <sup>A</sup>	2,0 <sup>A</sup>	0,0	2,5	10,4 <sup>M</sup>	8,4 <sup>M</sup>	72,0 <sup>A</sup>

\*Interpretação de valores conforme SBCS/CQFS (2004); B = baixo; MB = muito baixo; M = médio; A = alto; MO = matéria orgânica; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; CTC = capacidade de troca catiônica; P = fósforo; K = potássio

**Apêndice 7 – Obtenção das amostras de estrutura preservada de solo da área do experimento, A – vista do material e da extração da amostra; B - detalhe da extração da amostra; C – pesagem das amostras.**



**Apêndice 8 – Densidade do solo (Ds), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), porosidade total (PT) e teor de umidade (U) do solo nos blocos do experimento a campo de mudas de *C. trichotoma* sob diferentes intensidades de sombreamento, Santa Maria, RS.**

Bloco	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Mic (%)	Mac (%)	PT (%)	U (%)
Profundidade de 0,00 – 0,10 m					
BL1	1,32	36,40	5,85	42,25	27,49
BL2	1,50	29,87	5,64	35,51	19,94
BL3	1,33	36,76	5,87	42,63	27,54
BL4	1,35	34,15	5,06	39,22	25,42
BL5	1,50	36,47	7,23	43,70	24,29
Profundidade de 0,10 – 0,20 m					
BL1	1,44	32,94	5,77	38,71	22,86
BL2	1,55	37,40	2,38	39,78	24,06
BL3	1,53	36,68	3,57	40,25	24,08
BL4	1,70	36,75	6,36	43,11	21,67
BL5	1,57	33,93	7,18	41,12	22,22

**Apêndice 9 – Distribuição das partículas por tamanho e classificação textural do solo da área do experimento, Santa Maria, RS.**

Bloco	Distribuição do tamanho de partículas (%)				Classe textural
	Areia grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	
Profundidade de 0,00 – 0,10 m					
BL1	14,15	18,97	41,77	25,12	Franco
BL2	17,74	26,57	31,21	24,49	Franco
BL3	17,53	21,45	26,88	34,14	Franco Argiloso
BL4	7,91	12,57	59,14	20,38	Franco Siltoso
BL5	20,97	22,07	25,16	31,79	Franco Argiloso
Profundidade de 0,10 – 0,20 m					
BL1	16,57	25,18	30,98	27,27	Franco
BL2	16,98	21,72	27,24	34,06	Franco Argiloso
BL3	17,11	20,58	23,20	39,11	Franco Argiloso
BL4	7,79	14,3	57,92	19,99	Franco Siltoso
BL5	21,10	19,67	27,04	32,19	Franco Argiloso
Profundidade de 0,20 – 0,30 m					
BL1	17,97	25,68	30,48	25,86	Franco
BL2	20,26	17,83	24,31	37,6	Franco Argiloso
BL3	19,69	20,10	21,34	38,86	Franco Argiloso
BL4	10,46	15,06	55,56	18,92	Franco Siltoso
BL5	20,44	22,12	27,81	29,63	Franco Argiloso

Metodologia: método da pipeta; Classe Textural: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.



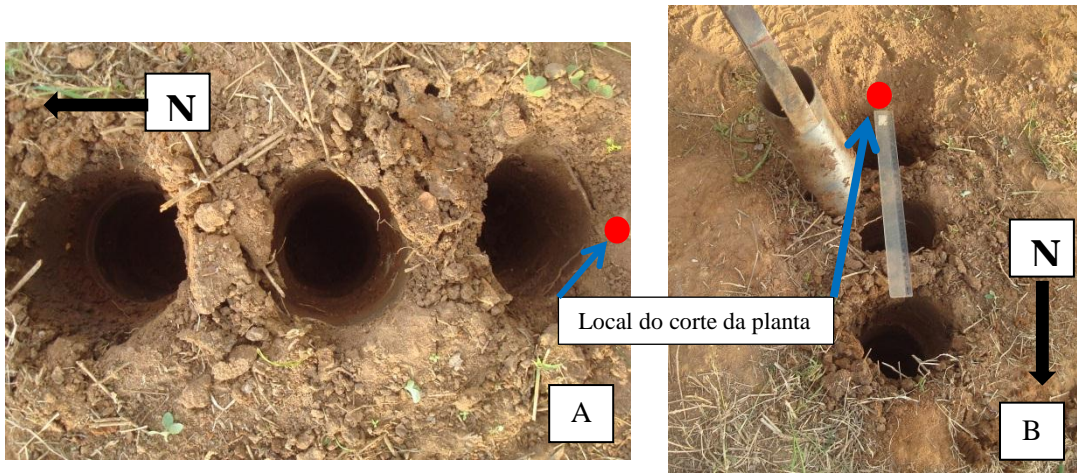
**Apêndice 10 – A - Abertura das covas para implantação das mudas de *C. trichotoma*, B – vista do plantio.**



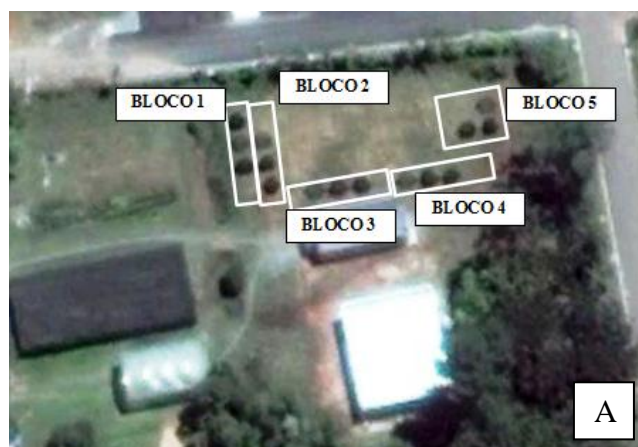
**Apêndice 11 – A, B, C – Adubação das mudas de *C. trichotoma*.**



**Apêndice 12 – A e B – Obtenção das amostras de solo com raízes; C e D – tratamento das amostras para separação das raízes.**



Apêndice 13 – Localização do plantio a campo de mudas de *C. trichotoma*. A - vista aérea de parte da área do Viveiro Florestal (DCFL/UFSM), com a localização dos blocos, Santa Maria, RS. Fonte: Google Earth em 2014; B - localização no campo dos blocos do experimento de sombreamento, Santa Maria, RS. Fonte: Kelling, 2015; C e D – instalação das malhas de nylon nas parcelas; E – detalhe dos arcos de sustentação das malhas de nylon.



**Apêndice 14 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência dos níveis de sombreamento no crescimento das mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)							
		AP	DC	AP/DC	DCOPA	AHC	NR	CMR	NF
Bloco	3	1591,27*	83,31*	0,753 <sup>ns</sup>	2119,43*	41570813,92*	0,002 <sup>ns</sup>	501,53*	60717,23*
Sombreamento	3	1386,11*	8,80 <sup>ns</sup>	2,205*	1401,52*	25045693,25*	0,001 <sup>ns</sup>	581,55*	64468,73*
Resíduo	9	86,54	14,57	0,263	277,61	5763662,93	0,001	66,56	12495,62
CV (%)	-	10,50	18,10	11,94	19,52	37,74	18,16	20,94	40,33
Média	-	88,57	21,09	4,29	85,34	6361,65	5,88	38,97	277,19

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação; AP = altura da planta; DC = diâmetro do coleto; AP/DC = relação AP/DC; DCOPA = diâmetro da copa; AHC = área horizontal da copa; NR = número de ramos; CMR = comprimento médio dos ramos; NF = número de folhas.

**Apêndice 15 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a influência dos níveis de sombreamento no crescimento das mudas de *C. trichotoma*, aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)						
		AF	MSF	MSCR	MSPA	VR	CR	DR
Bloco	3	12503790,44*	318,79*	1898,07*	3749,55*	1,28 <sup>ns</sup>	844322,04*	0,212 <sup>ns</sup>
Sombreamento	3	20761237,18*	368,99*	2403,41*	4373,04*	15,21 <sup>ns</sup>	255807,79 <sup>ns</sup>	0,174 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	1741318,68	30,71	306,45	506,12	12,04	206592,35	0,186
CV (%)	-	29,22	20,90	32,53	28,01	31,21	31,90	43,05
Média	-	4516,27	26,51	53,82	80,33	11,12	1424,92	1,00

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação; AF = área foliar; MSF = massa seca foliar; MSCR = massa seca de caule e ramos; MSPA = massa seca da parte aérea; VR = volume de raízes; CR = comprimento de raízes; DR = densidade de raízes.

**Apêndice 16 – Hábito de crescimento das plantas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS. A – tratamento a pleno sol (0% de sombreamento); B – 18% de sombreamento; C – 50% de sombreamento; D – 70% de sombreamento.**



**Apêndice 17 – Forma e dimensões apresentadas por folhas de plantas de *C. trichotoma* aos 180 dias após plantio no campo, submetidas ao sombreamento de 70%, Santa Maria, RS.**



**Apêndice 18 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para os parâmetros fisiológicos das mudas de *C. trichotoma* em diferentes níveis de sombreamento, aos 90 e 180 dias após plantio no campo, Santa Maria, RS.**

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)							
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl total	Chl <i>a</i> / Chl <i>b</i>	Carote- noides	<i>F0</i>	<i>Fv/Fm</i>	<i>ETR</i>
Bloco	4	0,184*	0,2086*	0,325*	0,108 <sup>ns</sup>	0,010*	6494,612 <sup>ns</sup>	0,010*	1693,698 <sup>ns</sup>
Sombrea- mento (S)	3	0,048 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>	0,096 <sup>ns</sup>	0,044 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	5143,008 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	4008,044*
Tempo (T)	1	1,132*	1,053*	1,923*	0,002 <sup>ns</sup>	0,090*	53833,008*	0,099*	9343,445*
S x T	3	0,009 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>	2211,320 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	88,092 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	0,026	0,003	0,048	0,053	0,002	2394,707	0,003	937,500
CV (%)		14,48	14,54	15,46	6,53	10,58	33,53	8,06	26,41
Média geral		1,110	0,318	1,426	3,540	0,370	145,953	0,688	115,947

<sup>ns</sup> F não significativo a 5% de probabilidade; \* F significativo a 5% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; CV(%) = Coeficiente de variação; Chl *a* = clorofila *a*; Chl *b* = clorofila *b*; Chl total = clorofila total; Chl *a*/Chl *b* = relação clorofila *a*/clorofila *b*; *F0* = fluorescência inicial; *Fv/Fm* = rendimento quântico máximo; *ETR* = taxa de transporte de elétrons.

(continua...)

**Apêndice 19 – Resultado da ordenação utilizando Análise de Correspondência Canônica, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS.**

\*\*\*\*\* Canonical Correspondence Analysis \*\*\*\*\*

PC-ORD, 5.10  
14 Nov 2015, 6:00  
Monica

DATA MATRICES

-----  
Main matrix:  
5 plots (rows)  
7 species (columns)

Second matrix:  
5 plots (rows)  
4 environ (columns)

Finished reading data.  
-----

OPTIONS SELECTED

Axis scores centered and standardized to unit variance  
Axes scaled to optimize representation of columns: species  
(Scores for species are weighted mean scores for plots )  
Scores for graphing plots are linear combinations of environ  
Monte Carlo test: null hypothesis is no relationship between matrices  
Random number seed: 3459

RAW CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

	Areia20	Silte20	Argil20	Micr20
Areia20	1.000	-0.959	0.775	-0.247
Silte20	-0.959	1.000	-0.922	-0.015
Argil20	0.775	-0.922	1.000	0.373
Micr20	-0.247	-0.015	0.373	1.000

WEIGHTED CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

(weighted by row totals in main matrix)

	Areia20	Silte20	Argil20	Micr20
Areia20	1.000	-0.962	0.776	-0.304
Silte20	-0.962	1.000	-0.919	0.058
Argil20	0.776	-0.919	1.000	0.301
Micr20	-0.304	0.058	0.301	1.000

(continuação)

## Apêndice 19 – Resultado da ordenação utilizando Análise de Correspondência Canônica, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS.

### AXIS SUMMARY STATISTICS

Number of canonical axes: 3

Total variance ("inertia") in the species data: 0.1555

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.135	0.015	0.006
Variance in species data			
% of variance explained	86.6	9.5	3.9
Cumulative % explained	86.6	96.1	100.0
Pearson Correlation, Spp-Envt*	1.000	1.000	1.000
Kendall (Rank) Corr., Spp-Envt	1.000	1.000	1.000

\* Correlation between sample scores for an axis derived from the species data and the sample scores that are linear combinations of the environmental variables. Set to 0.000 if axis is not canonical.

### MULTIPLE REGRESSION RESULTS:

Regression of plots in species space on environ

Variable	Standardized			Original Units			S.Dev
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3	
1 Areia20	-394.2021177	2241538.630	-54.175	161.786	211.454	0.728E+01	
2 Silte20	-628.5581880	9622464.102	-53.953	161.455	211.509	0.117E+02	
3 Argil20	-271.409	814.8241071	942	-53.615	160.963	211.755	0.506E+01
4 Micr20	-0.268	2.335	-0.137	-0.286	2.494	-0.147	0.937E+00

Scores that are derived from the scores of species (WA Scores)

FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 5 plots

	Raw Data			
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Totals
1 Area1	-1.064944	1.192269	0.207603	951.3872
2 Area2	-0.632954	-1.554410	0.893504	709.6375
3 Area3	1.944174	0.661153	1.364234	483.3115
4 Area4	0.540884	-0.068289	-1.556738	611.5694
5 Area5	0.287208	-0.462480	-0.806460	668.2001

Scores that are linear combinations of environ (LC Scores)

FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 5 plots

Raw Data

(continuação)

**Apêndice 19 – Resultado da ordenação utilizando Análise de Correspondência Canônica, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS.**

Axis 1	Axis 2	Axis 3	Totals	
1 Area1	-1.064944	1.192311	0.207750	951.3872
2 Area2	-0.632953	-1.554395	0.893637	709.6375
3 Area3	1.944153	0.661095	1.364027	483.3115
4 Area4	0.540888	-0.068276	-1.556971	611.5694
5 Area5	0.287218	-0.462515	-0.806439	668.2001

FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 7 species

	Raw Data			
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Totals
1 Sobrev	-0.040473	-0.148567	-0.151467	431.2500
2 H	-0.154863	-0.130887	-0.020358	386.1701
3 DC	-0.124235	-0.059786	-0.045156	93.0074
4 NF	-0.451644	0.105219	0.016843	1011.6666
5 Fo 180	0.486727	0.097148	-0.011048	994.7091
6 FV/Fm 18	0.105324	-0.043330	-0.002214	3.0314
7 ETR 180	0.121472	-0.164147	0.141468	504.2708

CORRELATIONS AND BIPLLOT SCORES for 4 environ

Variable	Correlations*			Biplot Scores		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 Areia20	-0.219	-0.197	0.648	-0.219	-0.197	0.648
2 Silte20	-0.052	0.163	-0.691	-0.052	0.163	-0.691
3 Argil20	0.435	-0.093	0.659	0.435	-0.093	0.659
4 Micr20	0.857	0.499	-0.105	0.857	0.499	-0.105

\* Correlations are "intraset correlations" of ter Braak (1986)

INTER-SET CORRELATIONS for 4 environ

Variable	Correlations		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 Areia20	-0.219	-0.197	0.648
2 Silte20	-0.052	0.163	-0.691
3 Argil20	0.435	-0.093	0.659
4 Micr20	0.857	0.499	-0.105

Note: Obtain joint plots or biplots by selecting GRAPH, then requesting "Joint plots" from the GRAPH menu.



(conclusão)

**Apêndice 19 – Resultado da ordenação utilizando Análise de Correspondência Canônica, de um plantio de mudas de *C. trichotoma*, em Santa Maria, RS.**

MONTE CARLO TEST RESULTS -- EIGENVALUES

Axis	Randomized data				p
	Real data	Mean	Min	Max	
1	0.135	0.127	0.113	0.135	0.0080
2	0.015	0.015	0.014	0.015	
3	0.006	0.006	0.006	0.006	

p = proportion of randomized runs with eigenvalue greater than or equal to the observed eigenvalue; i.e.,

MONTE CARLO TEST RESULTS -- SPECIES-ENVIRONMENT CORRELATIONS

Axis	Randomized data				p
	Spp-Envr Corr.	Mean	Minimum	Maximum	
1	1.000	0.999	0.997	1.000	0.0260
2	1.000	0.982	0.921	1.000	
3	1.000	0.873	0.562	1.000	

p = proportion of randomized runs with species-environment correlation greater than or equal to the observed species-environment correlation; i.e.,

\*\*\*\*\* Operation completed \*\*\*\*\*