

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

Álvaro Luís Pasquetti Berghetti

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM *Cordia trichotoma* (VELL.) ARRAB. EX STEUD EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA NO PLANTIO

Santa Maria, RS
2017

Álvaro Luís Pasquetti Berghetti

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM *Cordia trichotoma* (VELL.) ARRAB. EX STEUD EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA NO PLANTIO

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maristela Machado Araujo

Santa Maria, RS
2017

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

Pasquetti Berghetti, Álvaro Luís
Alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas em
Cordia trichotoma (vell.) arrab. ex steud em resposta a
adubação mineral e orgânica no plantio / Álvaro Luís
Pasquetti Berghetti.- 2017.
95 f.; 30 cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Coorientadores: Frederico Dimas Fleig, Gustavo
Brunetto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Louro-pardo 2. Adubação mineral 3. Adubação
fosfatada 4. Adubação orgânica 5. Polímero hidroretentor I.
Machado Araujo, Maristela II. Dimas Fleig, Frederico
III. Brunetto, Gustavo IV. Título.

©2017

Todos os direitos autorais reservados a Álvaro Luís Pasquetti Berghetti. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Álvaro Luís Pasquetti Berghetti

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM *Cordia trichotoma* (VELL.) ARRAB. EX STEUD EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA NO PLANTIO

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2017:

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

Luciane Almeri Tabaldi, Dra. (UFSM)

Steel Silva Vasconcelos, Dr. (EMBRAPA)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, pelo amor, exemplo e apoio em todos os momentos.
Dedico também a todos que me acompanharam ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e proteção.

Aos meus pais, Aderli e Marilei, por todo esforço, amor, carinho, educação compreensão e apoio.

A meu irmão, Magno, pelo apoio, amizade e companheirismo.

À professora e orientadora Dr^a. Maristela Machado Araujo, pela concessão da área experimental, amizade, apoio, orientação, aprendizado e confiança depositada em mim ao longo dos anos de parceria e trabalho, iniciados na graduação e reforçados durante o Mestrado.

Aos meus co-orientadores Gustavo Brunetto e Frederico Dimas Fleig, pelas conversas orientações e ensinamentos.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, e aos professores pela oportunidade de realização do mestrado, pelos ensinamentos e formação pessoal e profissional.

Às instituições de fomento à pesquisa, CNPq, CAPES e Fapergs pelo auxílio financeiro e a concessão de bolsas de estudos aos alunos de graduação e pós-graduação.

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

Aos colaboradores do viveiro florestal Élio, pelo auxílio imprescindível, apoio e otimismo, ao Gervásio, pela cooperação em todos os momentos necessitados e ao João, pelo auxílio nas atividades de campo.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal: Adriana, Cláudia, Daniele Rorato, Felipe Barbosa, Felipe Turchetto, Gabriel, Guilherme, Matheus, Maurício, Marillos, Suelen, Thaíse, Thairini, e demais que passaram por lá por todo o apoio, amizade e colaboração.

A todos meus amigos pelo companheirismo e amizade.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma ou outra contribuíram para mais essa conquista na minha vida.

Muito obrigado!

“A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana”

LOUIS PASTEUR

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM *Cordia trichotoma* (VELL.) ARRAB. EX STEUD EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA NO PLANTIO

AUTOR: Álvaro Luís Pasquetti Berghetti

ORIENTADORA: Maristela Machado Araujo

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2017.

A espécie *Cordia trichotoma* (louro-pardo) é amplamente distribuída em florestas tropicais e subtropicais na América do Sul, possuindo madeira de alto valor econômico agregado, sendo considerada uma das arbóreas prioritárias para plantios destinados ao restabelecimento de áreas alteradas e fins comerciais. No entanto, pesquisas relacionadas ao seu desempenho morfológico, fisiológico e bioquímico são incipientes, principalmente no que diz respeito a influência do uso de polímeros hidrotentores, assim como à fertilização para o adequado crescimento em plantios. Nesse sentido, o presente estudo foi dividido em dois capítulos, sendo que no Capítulo I objetivou-se verificar o comportamento das plantas de *C. trichotoma* submetidas a aplicação de quatro doses de fósforo (0, 120, 240 e 360 kg de P₂O₅ ha⁻¹), na presença e ausência de polímero hidrotentor (5 g L⁻¹ por muda⁻¹). No Capítulo II foi determinada a influência de diferentes tipos de adubações (dejeito bovino, dejeito de aves e fertilizante mineral) em mudas *C. trichotoma*, na presença e ausência de polímeros hidrotentores. Os plantios foram conduzidos em Argissolo Vermelho distrófico arênico, na região Central do Rio Grande do Sul, Brasil. Na avaliação das mudas, foram determinados os atributos morfológicos (altura e diâmetro do coleto, área foliar, matéria seca aérea e radicular), fisiológicos (fluorescência da clorofila *a*), bioquímicos (pigmentos fotossintéticos, atividade da enzima fosfatase ácida e teor de nutrientes nas folhas). De forma geral, evidenciou-se que com a ocorrência de elevados índices pluviométricos na fase pós plantio, o uso de polímeros hidrotentores não influenciou a sobrevivência e o crescimento das mudas. No Capítulo I, percebeu-se que a espécie *C. trichotoma* é exigente em relação a fertilidade do solo, sendo responsiva à adubação fosfatada. Recomenda-se a utilização de cerca de 220 kg de P₂O₅ ha⁻¹ para as mudas obterem maior crescimento em altura, diâmetro do coleto e produção de matéria seca aérea e radicular. Essa dose também é indicada para maior aproveitamento da energia luminosa e menor índice de perda de energia por fluorescência. No Capítulo II, evidenciou-se que para essa espécie a adubação com dejeito bovino pode ser considerada uma alternativa em substituição à fertilização mineral, oriundos de fontes escassas e de maior custo de aquisição. O uso de 10 litros de dejeito bovino curtido por muda proporciona adequado crescimento e atividade fotossintética. Com o presente estudo percebeu-se que a avaliação da emissão de fluorescência da clorofila *a* e da atividade da enzima fosfatase ácida pode ser utilizada para identificar alterações no metabolismo das plantas, causadas pela baixa disponibilidade de nutrientes e monitorar a necessidade de adubação nas mudas dessa espécie.

Palavras-chave: Louro-pardo. Adubação mineral. Adubação fosfatada. Adubação orgânica. Polímero hidrotentor.

ABSTRACT

Masters dissertation
Post-Graduation Course in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria

MORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN *Cordia trichotoma* (VELL.) ARRAB. EX STEUD IN RESPONSE TO MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION IN PLANTIO

AUTHOR: Álvaro Luís Pasquetti Berghetti

ADVISOR: Maristela Machado Araujo

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 23th, 2017.

Cordia trichotoma species (louro-pardo) is widely distributed in tropical and subtropical forests at South America. Its wood has high economic value and it is considered one of the priority tree species for planting destined to reestablishment altered area and for commercial purposes. However, researches related to morphological, physiological and biochemistry performance are incipient, mainly associated to the use of water-retaining polymers as well as the fertilization for suitable growing in the field. In this sense, the present study was shared in two chapters: Chapter I aimed to verify the behavior of *C. trichotoma* seedling submitted over four phosphor applications (0, 120, 240 e 360 Kg of P₂O₅ ha⁻¹), with presence and absence of water-retaining polymers (5 g L⁻¹ per seedling⁻¹). In the Chapter II was studied the influence of different types of fertilizers (cattle manure, poultry manure and mineral fertilizer) in the *C. trichotoma*, with and without the presence of water-retaining polymers. The planting was conducted on a Sandy Typic Hapludalf, at Central region of Rio Grande do Sul State, Brazil. For seedlings evaluation, was measured morphological (height and stem diameter, leaf area and dry matter of shoot and root), physiological (chlorophyll *a* fluorescence), biochemistry parameters (photosynthetic pigments and phosphatase acid enzyme activity) and nutrients content in the leaf. In general, it was evident the occurrence of high rainfall index after planting phase and, there was no influence of the use of water-retaining polymers in the survival and seedlings growth. In the Chapter I, was noticed that *C. trichotoma* species require soil fertility, demanding phosphatase fertilization. It is recommended the use of near 220 Kg P₂O₅ ha⁻¹ for seedling achieve high growth in the shoot, stem diameter and dry matter of shoot and root. This fertilizer content is recommended for more exploitation of luminous energy and less loss of fluorescence energy. In the Chapter II, was showed for this species that fertilization with cattle manure can be considered alternative option, replacing mineral fertilization originated from scarce sources and with high purchase cost. The use of 10 liters of cattle manure per seedling provide suitable growth and photosynthetic activity. In the present study, we noticed that the evaluation of emission fluoresce of chlorophyll *a* and phosphatase acid enzyme activity can be used to identified alteration in plants metabolism caused by low nutrients availability as well as to control the demand of seedling fertilization of this species.

Keywords: Louro-pardo. Mineral fertilization. Phosphatase fertilization. Organic fertilization. Water-retaining polymers

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1- Resultado da Análise de Variância (p valor) para altura (H), diâmetro do coleto (DC), área foliar (AF), matéria seca aérea (MSA) e matéria seca radicular (MSR) das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio.....92
- Apêndice 2- Resultado da Análise de Variância (p valor) para os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total) e carotenoides das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio92
- Apêndice 3- Resultado da Análise de Variância (p valor) para fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e atividade da enzima fosfatase ácida das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio.....93
- Apêndice 4- Resultado da Análise de Variância (p valor) para teor de fósforo (P) nas raízes, caule, galhos e folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio93
- Apêndice 5- Resultado da Análise de Variância (p valor) para teor de fósforo (P) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 metros, 24 meses após aplicação de diferentes doses de P em mudas de *C. trichotoma*.....94
- Apêndice 6- Resultado da Análise de Variância (p valor) para altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca aérea (MSA), matéria seca radicular (MSR) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor.....94
- Apêndice 7- Resultado da Análise de Variância (p valor) para taxa de transporte de elétrons (ETR_m), fluorescência inicial (F_0) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) ácida de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor.....94
- Apêndice 8- Resultado da Análise de Variância (p valor) para os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), carotenoides e atividade da enzima fosfatase ácida de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor95
- Apêndice 9- Resultado da Análise de Variância (p valor) para teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor95
- Apêndice 10- Resultado da Análise de Variância (p valor) para teor de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, dois anos após o plantio de mudas de *C. trichotoma* sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor.....95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos físicos e químicos do solo na camada 0,0-0,20 metros da área de plantio, Santa Maria, RS, Brasil.....	33
Tabela 2- Atributos físicos e químicos do solo na camada 0-20 metros da área experimental. Valores representam a média de três repetições	59
Tabela 3- Atributos químicos dos dejetos bovino e de aves utilizados na adubação das mudas de <i>Cordia trichotoma</i>	61
Tabela 4- Efeito de diferentes adubações na altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca aérea (MSA), matéria seca radicular (MSR) e área foliar (AF) de mudas de <i>Cordia trichotoma</i> cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidretentor.....	67
Tabela 5- Efeito de diferentes adubações nos atributos taxa de transporte de elétrons (ETR _m), na emissão de fluorescência inicial (F ₀) e no rendimento quântico máximo (F _v /F _m) em mudas de <i>C. trichotoma</i> cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidretentor	68
Tabela 6- Efeito de diferentes adubações no teor de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , carotenoides e atividade da enzima fosfatase ácida em mudas de <i>C. trichotoma</i> cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidretentor	69
Tabela 7- Teor de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, dois anos após o plantio de mudas de <i>C. trichotoma</i>	72

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Dados meteorológicos precipitação (mm) e temperatura do ar média mensal (°C) durante o período de condução do plantio no campo, registrados no Município de Santa Maria, RS 32
- Figura 2- Altura (a), diâmetro do coleto (b), área foliar (c), matéria seca aérea (d), matéria seca radicular (e) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio 40
- Figura 3- Teor de clorofila *a* (a), clorofila *b* (b), clorofila total (c) e carotenoides (d) em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio 42
- Figura 4- Fluorescência inicial (F_0) (a) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) (b) em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio 43
- Figura 5- Atividade da enzima fosfatase ácida em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio 44
- Figura 6- Teor de fósforo (P) nas raízes (a), caule (b), galhos (c) e folhas (d) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio. ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade..... 45
- Figura 7- Teor de fósforo (P) disponível no solo nas camadas 0,0-0,20 e 0,20-0,40 metros, dois anos após aplicação de diferentes doses de P_2O_5 em mudas de *C. trichotoma* 46
- Figura 8- Precipitação (mm), temperatura máxima (Temp. máx.) e temperatura mínima (Temp. min.) do período de condução do experimento, registrados no Município de Santa Maria, RS 60
- Figura 9- Teor de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d) e magnésio (e) nas folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sobre diferentes tipos de adubação, na presença e ausência de polímero hidroretentor, dois anos após o plantio..... 70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 <i>Cordia trichotoma</i> (Vellozo) ARRAB. EX STEUD.	17
2.2 ELEMENTOS ESSENCIAIS ÀS PLANTAS E PRINCIPAIS FERTILIZANTES UTILIZADOS NOS PLANTIOS	18
2.2.1 Uso de fertilizantes orgânicos e minerais como fonte de nutrientes	20
2.2.1.1 <i>Fertilizantes orgânicos</i>	20
2.2.1.2 <i>Fertilizantes minerais</i>	21
2.3 POLÍMEROS HIDRORETENTORES	23
2.4 PLANTIOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO CAMPO	24
2.5 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS	25
3 CAPÍTULO I – BENEFÍCIOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE PLANTAS DE <i>Cordia trichotoma</i>	28
3.1 INTRODUÇÃO	30
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.2.1 Descrição da área experimental	32
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	33
3.2.3 Preparo da área e plantio das mudas	34
3.2.4 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas	35
3.2.5 Avaliação da fluorescência da clorofila <i>a</i>	36
3.2.6 Determinação de pigmentos fotossintéticos	36
3.2.7 Atividade da enzima fosfatase ácida	36
3.2.8 Teor de P nos tecidos vegetais	37
3.2.9 Análise de P disponível no solo	37
3.2.10 Análise estatística	37
3.3 RESULTADOS	39
3.3.1 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas	39
3.3.2 Pigmentos fotossintéticos	41
3.3.3 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	42
3.3.4 Enzima fosfatase ácida	43
3.3.5 Teor de P nos tecidos vegetais	44
3.3.6 Teor de P disponível no solo	45
3.4 DISCUSSÃO	47
3.4.1 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas	47

3.4.2 Pigmentos fotossintéticos	49
3.4.3 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	50
3.4.4 Enzima fosfatase ácida	51
3.4.5 Teor de P nos tecidos vegetais	52
3.4.6 Teor de P disponível no solo	53
3.5 CONCLUSÕES	54
4 CAPÍTULO II –ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA ASSOCIADA AO USO DE POLÍMERO HIDRORETENTOR SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>Cordia trichotoma</i>	55
4.1 INTRODUÇÃO	57
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	59
4.2.1 Área experimental	59
4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	60
4.2.3 Preparo da área e plantio das mudas	61
4.2.4. Avaliações da sobrevivência e dos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos	62
4.2.5 Análise do teor de nutrientes disponível no solo	64
4.2.6 Análise estatística	65
4.3 RESULTADOS	66
4.3.1 Sobrevivência e atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos	66
4.3.2 Teor de nutrientes disponível no solo	71
4.4. DISCUSSÃO	73
4.5 CONCLUSÕES	77
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
APÊNDICES	92

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, a fragmentação de paisagens e a degradação ambiental, em importantes formações vegetais como a Mata Atlântica, ocasiona principalmente a perda de biodiversidade (BRANCALION et al., 2010; FAO, 2011). Na região Sul, a supressão dos recursos florestais ocorreu concomitantemente com a ocupação territorial para a expansão do setor agropecuário, ocasionando a fragmentação das florestas, e a redução do número de espécies arbóreas nativas com potencial comercial madeireiro (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011). Com isso, existem extensas áreas alteradas não cultivadas, sendo a silvicultura uma possibilidade viável para o uso do solo, com geração de valores ambientais e riquezas.

A espécie *Cordia trichotoma* é considerada uma das árvores nativas madeireiras prioritárias da região sul do Brasil (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011), que pode ser utilizada em plantios com esta finalidade, em razão do alto valor comercial, devido à durabilidade, qualidade e bom acabamento da madeira, a qual é utilizada para fabricação de móveis, persianas e revestimento decorativo (CARVALHO, 2003). A espécie, em plantios apresenta elevada taxa de sobrevivência (SALVADORI et al., 2013) e potencial de crescimento (ANTONELLI et al., 2015).

Assim como a maioria das espécies nativas, a *C. trichotoma* é pouco utilizada em plantios comerciais. Uma limitação importante para o plantio comercial de *C. trichotoma* é a falta de recomendação de adubação para a espécie, como comumente ocorre para a maioria das espécies nativas. Assim há falta de informações relacionadas à fertilização e seus efeitos sobre os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. Assim, as espécies florestais podem apresentar limitações no crescimento inicial e aporte de biomassa, tendo em vista que apresentam capacidades diferenciadas quanto a absorção, translocação e aproveitamento dos nutrientes (STAHL et al., 2013).

A fertilização de plantas pode ser realizada a partir de fontes orgânicas e inorgânicas. As principais fontes orgânicas são os dejetos de animais (aves, bovinos e suínos), resíduos de culturas e adubos verdes, e as fontes inorgânicas os fertilizantes minerais compostos principalmente por nitrogênio, fósforo e potássio (CQFS-RS/SC, 2016; RAIJ, 2011). Para as espécies florestais, a adubação geralmente é realizada no plantio com complementações de adubação de cobertura para os fertilizantes nitrogenados (CQFS-RS/SC, 2016). A adubação deve ser suficiente para atender a demanda das plantas durante todo seu ciclo de produção (DIAS et al., 2014).

Outra técnica ainda pouco estudada em plantios com espécies arbóreas nativas é o uso de polímeros retentores de água, cujo objetivo é manter o sistema radicular das mudas hidratado logo após o plantio, amenizando as taxas de mortalidades e favorece o crescimento em períodos de restrição hídrica (FELIPPE et al., 2016; TEO; CORREA; DENARDIN, 2014). Conforme Fagundes et al. (2015), além da capacidade de absorção e adsorção de água, esses polímeros também podem reter nutrientes, reduzindo as perdas por lixiviação.

A caracterização da necessidade de fertilizantes e de polímeros pode ser realizada com base na condução de experimentos, considerando a viabilidade técnica, científica e operacional. Para isso, pode-se levar em consideração os atributos morfológicos, normalmente utilizados para quantificar o crescimento e qualidade de mudas florestais (RITCHIE et al., 2010), por serem de fácil mensuração (TSAKALDIMI; GANATSAS; JACOBS, 2013).

Campoe et al. (2014) e Cooke e Suski (2008) destacaram que somente a avaliação dos atributos morfológicos pode ser insuficiente, uma vez que não demonstram com exatidão as alterações no metabolismo das plantas causadas por algum estresse. Assim, o uso de atributos fisiológicos e bioquímicos, como aqueles relacionados ao aparato fotossintético e sistema de defesa da planta, permitem avaliar as respostas do metabolismo vegetal quando submetido ao efeito de diferentes respostas à deficiência nutricional (BAKER, 2008).

Face ao exposto, essa pesquisa teve como objetivo geral identificar a influência do uso de fertilizantes orgânicos e minerais na presença e ausência de polímeros retentores de água, no desenvolvimento a campo de mudas de *C. trichotoma*.

No capítulo I tem-se como objetivo determinar os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos em mudas de *C. trichotoma* submetidas à adubação fosfatada, na presença e ausência de polímeros hidrotentores. Para isso, considerou-se como hipótese que o polímero influencia positivamente na sobrevivência e no crescimento e que essa espécie é exigente à adubação fosfatada.

No capítulo II objetivou-se verificar a influência de fertilizantes minerais e orgânicos nos atributos morfofisiológicos de mudas de *C. trichotoma* na presença e ausência de polímeros retentores de água. Dessa forma, tem-se como hipótese que fertilizantes orgânicos proporcionam às mudas adequada atividade fotossintética, crescimento e acúmulo de matéria seca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Cordia trichotoma* (Vellozo) ARRAB. EX STEUD.

A espécie *C. trichotoma*, pertencente à família Boraginaceae, é uma arbórea decidual classificada com secundária inicial (VACCARO; LONGHI; BRENA, 1999), conhecida popularmente como louro-pardo, e amplamente distribuída na América do Sul (Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai e Bolívia) em florestas tropicais e subtropicais (CARVALHO, 2003; SOBRAL et al., 2006). No Brasil, ocorre naturalmente desde o Nordeste até o Sul, em formações de Floresta Pluvial Atlântica, no Cerrado, na Floresta Estacional Semidecidual e Estacional Decidual (CARVALHO, 2003; CORADIN, SIMINSKI; REIS, 2011; FREITAS et al., 2006).

A floração ocorre entre os meses de fevereiro a junho, sendo o fruto classificado como simples, indeiscente, e as sementes cilíndricas e recalcitrantes (FELIPPI et al., 2012). A dispersão ocorre de forma anemocórica (CARVALHO, 2003). A germinação é do tipo epígea e alta (74 %), no entanto, lenta e desuniforme, ocorrendo entre o 18º e 50 º dia após a sementeira, originando plântulas fanerocotiledonares. O percentual germinativo pode ser favorecido pela retirada do perianto e tratamento das sementes com fungicida (Captan®) que reduz a incidência de fungos patogênicos dos gêneros *Alternaria* spp., *Trichoderma* spp. e *Rhizopus* spp. (BERGHETTI et al., 2015).

A sementeira para produção de mudas pode ser feita diretamente nos recipientes ou em sementeiras com posterior repicagem. Conforme Berghetti et al. (2016), o uso de recipiente (tubetes cilíndrico-cônicos de polipropileno) com 110 cm³, preenchidos com substrato a base de 80% de turfa do tipo *Sphagnum* e 20% casca de arroz carbonizada e adubação de base com 7,5 g L⁻¹ de fertilizante de liberação controlada (18-5-9 NPK) resultam em mudas de melhor qualidade, estando aptas para o plantio em sete meses.

No campo os plantios com a espécie *C. trichotoma* devem ser realizados preferencialmente em locais sem geadas ou geadas leves e em solos de fertilidade química média a alta, profundos, bem drenados, com textura franca a argilosa, devendo-se evitar solos hidromórficos e rasos (CARVALHO, 2003). A espécie apresenta elevada taxa de sobrevivência (SALVADORI et al., 2013), sendo indicada para plantios destinados ao restabelecimento de áreas alteradas (CARVALHO, 2003) e fins comerciais, devido ao bom

potencial de crescimento, o que a torna viável para utilização em plantios (SCHEEREN et al., 2002).

A *C. trichotoma* possui sistema radicular pivotante e profundo, crescimento monopodial na fase jovem e dicotômica quando adulta, apresenta copa com folhagem densa de até 8 m de diâmetro, podendo alcançar até 35 m de altura e 90 cm de diâmetro à altura do peito. A espécie apresenta fuste reto e cilíndrico (10 a 20 m), com madeira de densidade moderada (0,43 a 0,78 g cm⁻³), envolta por casca de coloração cinza-claro, com estrias longitudinais (LONGHI, 1995; REITZ; KLEIN; REIS, 1988).

A espécie possui uma das melhores madeiras de lei, de fácil trabalhabilidade e bom acabamento, muito utilizada para fabricação de móveis de luxo, persianas e revestimento decorativo. Essas características indicam a mesma como uma das arbóreas nativas madeireiras prioritárias da região sul do Brasil (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011), fato que a tornou muito suscetível à exploração predatória, reduzindo o número de indivíduos de ocorrência natural (LORENZI, 1992).

Provavelmente, devido a não utilização do controle genético sobre o material de origem para formação das mudas, a *C. trichotoma* apresenta em plantios no campo crescimento lento a moderado com grande variabilidade no incremento em altura e diâmetro, forma e volume (RADOMSKI et al., 2012). Porém, há possibilidade de ganhos genéticos com a seleção destes caracteres (FREITAS et al., 2006), e o crescimento pode ser melhorado ou acelerado com uso adequado de fertilizantes, conforme observado por Antonelli et al. (2015).

Portanto, como a *C. trichotoma* é considerado uma espécie nobre, devido à sua importância ambiental e potencialidade econômica, apesar de existirem pesquisas relacionadas à mesma em algumas áreas, a literatura dispõe de poucas informações silviculturais no campo com relação à demanda nutricional das mudas, formas de fertilização e sua influência nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos.

2.2 ELEMENTOS ESSENCIAIS ÀS PLANTAS E PRINCIPAIS FERTILIZANTES UTILIZADOS NOS PLANTIOS

O crescimento e o desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas no campo estão diretamente vinculados à presença de elementos químicos. No entanto, a presença desses na planta não indica necessariamente que o mesmo possua função essencial em seu ciclo vital (BISSANI et al., 2008). Nas plantas, geralmente, são encontrados cerca de 50 elementos dos 118 existentes na natureza, e desses somente 17 são considerados essenciais. A essencialidade

caracteriza-se pelo fato de que na sua ausência ou escassez a planta não completa seu ciclo de vida (MALAVOLTA, 2006).

Os elementos ou nutrientes essenciais às plantas são divididos em minerais e não minerais. Os minerais são classificados em dois grupos, sendo que o primeiro são os macronutrientes: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); e enxofre (S), os quais são exigidos em maiores quantidades para suprir as necessidades das plantas. O segundo grupo é representado pelos micronutrientes: ferro (Fe); Manganês (Mn); zinco (Zn); cobre (Cu); molibdênio (Mo); boro (B); níquel (Ni); e cloro (Cl), requeridos em menores quantidades (LARCHER, 2000; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Os nutrientes não minerais carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) são obtidos primariamente da água ou do dióxido de carbono (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Conforme Bissani et al. (2008) um importante conceito no campo da fertilização é expresso pela lei do mínimo, segundo o qual o desenvolvimento das plantas é limitado pelo nutriente que se encontra em baixa concentração, em relação às suas necessidades, mesmo na presença de quantidades adequadas dos demais. Desta forma, além da quantidade absoluta de nutrientes no meio de crescimento, o balanço adequado desses é fundamental, pois o desenvolvimento das plantas é limitado pelo fator de crescimento que estiver em condições mínimas, seja nutricional, climático, entre outros (GIANELLO; GIASSON, 2004; JACOBS; LANDIS, 2009).

De modo geral, os solos das regiões tropicais, onde se encontram os maiores maciços florestais, apresentam boas características físicas. No entanto, geralmente, possuem limitações químicas, apresentando baixos teores de N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Cu e B e pH ácido, o que eleva o custo de implantação devido a necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes (GONÇALVES, 1995).

A fertilização do solo por meio da adubação, normalmente, aumenta a produtividade, devido ao maior vigor vegetal (ESPINDULA et al., 2010). Contudo, as recomendações das adubações são definidas em nível regional, conforme experimentação no campo e a utilização de fertilizantes dependem das necessidades nutricionais de cada espécie, da fertilidade natural do solo, da forma de reação dos adubos com o solo e de fatores econômicos (GONÇALVES, 1995).

A diagnose para recomendação da fertilização pode ser realizada por meio da análise química do solo e do tecido vegetal. A primeira reflete os níveis de nutrientes no meio de crescimento, potencialmente disponíveis às raízes das plantas enquanto, a segunda pode

revelar deficiências ou excessos de nutrientes presentes nas plantas, os quais permitem correções necessárias, que evitam o comprometimento do crescimento e da qualidade das mudas. No entanto, o nível crítico de deficiência e toxidez, e a faixa de suficiência adequada dos elementos é variável entre as espécies (CQFS-RS/SC, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2013).

2.2.1 Uso de fertilizantes orgânicos e minerais como fonte de nutrientes

2.2.1.1 Fertilizantes orgânicos

Os fertilizantes orgânicos são constituídos de compostos de origem natural, vegetal ou animal (ALCARDE, 2007). As principais fontes orgânicas são os dejetos de animais (aves, bovinos e suínos), resíduos de culturas e adubos verdes. Em alguns casos, desde que sua aplicação atenda normas de segurança sanitária e ambiental, também podem ser utilizados como fertilizantes o lodo de esgoto, os compostos de lixo urbano e alguns resíduos de agroindústrias (CQFS-RS/SC, 2016), sendo caracterizados pelos teores de matéria orgânica, teores totais dos nutrientes (N, P e K), teor de água e relação carbono/nitrogênio (RAIJ, 2011).

Conforme Alcarde (2007), os materiais orgânicos também podem ser enquadrados como condicionadores de solo por proporcionar maior capacidade de retenção de água, melhorar a sua estrutura e aeração, aumentar a atividade microbiana e capacidade de retenção catiônica. Além disso, a aplicação de materiais orgânicos pode promover, principalmente nas camadas superficiais do solo, melhorias nos seus atributos químicos, pois incrementam os teores de nutrientes como N, P, K, Ca e Mg (CERETTA et al., 2010; GATIBONI et al., 2008; GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013).

A alteração na concentração de nutrientes tende a aumentar a disponibilidade e a absorção pelas plantas, favorecem o crescimento do sistema radicular e a produção de matéria seca pelas culturas, em função do aumento da saturação por bases, maiores valores de pH do solo e da redução da saturação por alumínio (BRUNETTO et al., 2012; LOURENZI et al., 2011; LOURENZI et al., 2014). Esses benefícios às plantas, também estão atribuídos às mudanças quantitativas e qualitativas na matéria orgânica do solo pela adição de carbono no mesmo (LOURENZI et al., 2011).

O desempenho econômico das fontes orgânicas de nutrientes é dependente do tipo e composição dos dejetos, das doses utilizadas, do tipo e sistema de preparo do solo, da cultura e do transporte do material até a área (PANDOLFO; CERETTA, 2008). Conforme Souza et

al. (2006), o uso da adubação orgânica em plantio de espécies florestais é plenamente viável, podendo ser limitada apenas pela quantidade demandada em larga escala.

Dos materiais orgânicos mais utilizados destaca-se o dejetivo bovino (manejado na forma sólida ou líquida). Esse apresenta razoável teor de nutrientes, fibras (matéria seca), e proporciona o desenvolvimento de organismos antagonistas de fungos causadores de doença de solo (KONZEN; ALVARENGA, 2005).

O dejetivo de aves é outro resíduo que serve como uma alternativa por ser considerada fonte adequada de nutrientes, especialmente de N (CQFS-RS/SC, 2016), e por liberar os nutrientes lentamente, ocasionando menores perdas por lixiviação e disponibilizando por mais tempo os nutrientes às plantas (SOUZA et al., 2006). Esse material pode ser definido como a mistura de excrementos de aves, penas, fragmentos de material sólido e orgânico utilizados sobre os pisos dos aviários, acrescidos da ração desperdiçada dos comedouros (ALVES, 1991).

2.2.1.2 Fertilizantes minerais

Os fertilizantes minerais são sais inorgânicos solúveis (CQFS-RS/SC, 2016), que podem ser classificados quanto à sua natureza física, química e físico-química (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1989), sendo encontrados na forma líquida e sólida, sendo o estado sólido o mais utilizado. Esses podem ser caracterizados quanto a sua granulometria (pó, farelo ou grânulo), consistência (grau de dureza ou resistência à quebra), fluidez (capacidade de livre escoamento pelos sistemas aplicação) e densidade (relação da massa/volume) (RODELLA; ALCARDE, 2005).

A natureza físico-química dos fertilizantes é determinada de acordo com a rapidez que o mesmo disponibiliza os nutrientes (solubilidade), a tendência que apresenta para absorver água (higroscopicidade), o empedramento (cimentação das partículas) e o índice salino (RODELLA; ALCARDE, 2005).

Os fertilizantes inorgânicos no estado sólido e os macronutrientes N, P e K são os mais frequentes nas fórmulas comerciais. Dentre esses, o P é exigido em menores quantidades pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil, pois em muitos solos apresenta forte interação com o solo (adsorção), o que reduz a disponibilidade às plantas e a eficiência da adubação fosfatada (RAIJ, 2011).

Para as espécies florestais, o P apresenta grande importância na formação e produção florestal sendo considerado um dos limitantes para o crescimento das árvores, principalmente

na fase de estabelecimento da floresta (GRACIANO et al., 2006; STAHL et al., 2013). Isso certamente está associado à sua participação em metabólitos celulares, como constituintes de enzimas e da adenosina trifosfato (KIMANI; DERERA, 2009) e por integrar o processo de armazenamento e transferência de energia (SHEN et al., 2011).

Nota-se que as espécies arbóreas requerem elevada disponibilidade de P para atingir adequado crescimento nos plantios. Para tanto, aporte desse nutriente devem ser fornecidos por meio da fertilização. A interpretação da disponibilidade deve ser feita a partir dos resultados da análise de solo e quando definida a necessidade, os fertilizantes fosfatados deveram ser aplicados em covas ou no sulco de plantio (CQFS-RS/SC, 2016).

A adubação fosfatada é realizada na implantação do povoamento e, geralmente, não são feitas adubações complementares durante o ciclo vegetativo das plantas, pois acredita-se que a dose de P adicionada no plantio é suficiente para elevar esse teor disponível no solo até o nível crítico, mantendo-se ao longo do crescimento, devido à baixa quantidade de nutriente exportado pelas plantas arbóreas (CQFS-RS/SC, 2016). Assim, os teores de P natural do solo e os aportados via adubação devem ser suficientes para atender a demanda das plantas em todo o seu ciclo (DIAS et al., 2014). Após o corte e a retirada da biomassa deve ser feita nova análise de solo e nova recomendação (CQFS-RS/SC, 2016).

Conforme Elanchezhian et al. (2015), a absorção de P é influenciada pelas características morfológicas e fisiológicas das raízes, pela rizosfera e pelos fatores intrínsecos ao ambiente edáfico, os quais determinam o fluxo de nutrientes do solo à raiz. Como grande parte da absorção é suprida pela movimentação de P no solo que ocorre principalmente por difusão e outra em menor expressividade por interceptação radicular (LAMBERS et al., 2008; NOVAIS; SMYTH, 1999), a baixa disponibilidade desse elemento no solo limita a absorção de P pelas plantas (FIFE; NAMBIAR; SAUR, 2008; MIMURA, 2001).

As formas iônicas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} são absorvidas pelas raízes das plantas, inclusive da *C. trichotoma*, em solos com pH entre 5,5 e 6,5 (ELANCHEZHIAN et al., 2015). A quantidade de P requerida para o ótimo crescimento das plantas e a concentração desse nutriente no tecido depende da espécie e do órgão analisado, no entanto normalmente varia entre 0,1 a 0,5% da matéria seca (FAQUIN, 2005).

O P é móvel na planta e, por causa disso, os sintomas de deficiência ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas, que podem mostrar coloração amarelada, verde azulada, pouco brilho, podendo ocorrer em algumas espécies uma tonalidade arroxeada, devido a presença de antocianinas (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013). Conforme

Marschner (2012), devido esse nutriente participar da síntese e degradação de macromoléculas, como amido, gorduras e proteínas, e de outros inúmeros processos metabólicos da planta, sua carência se reflete no seu menor crescimento. Quando a deficiência de P é mais acentuada, o vigor das plantas é afetado, causando redução no desenvolvimento do sistema radicular e retardamento no crescimento (SCHACHTMAN et al., 1998).

2.3 POLÍMEROS HIDRORETENTORES

Os polímeros hidretentores, também denominados polímeros hidroabsorventes, hidrogel, entre outros, são de origem natural (derivado do amido) ou sintéticos (derivados do petróleo). Os polímeros mais utilizados são os sintéticos propenamidas (poliacrilamida ou PAM) e os copolímeros propenamida-propenoato (poliacrilamida acrilato ou PAA) (TERRACOTTEM, 1998). Esses polímeros, quando secos possuem forma granular e quebradiça, tornando-se elásticos e macios (gel) ao serem hidratados. Tais características possibilitam uma capacidade de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume (SAAD et al., 2009).

A utilização de polímeros, justifica-se na capacidade de absorção e adsorção da água gravitacional na rizosfera, nos períodos de maior disponibilidade hídrica, para as raízes das plantas (LECIEJEWSKI, 2009). Além dessa capacidade de reter e armazenar água quando incorporado ao solo, também podem reter nutrientes, que são lentamente liberados para as plantas em função dos ciclos de absorção-liberação (BERNARDI et al., 2012), reduzindo as perdas por lixiviação (FAGUNDES et al., 2015).

De modo geral, a necessidade de proteger o sistema radicular contra a desidratação no plantio, minimizando custos com a prática de replantio, quando o ambiente e a sazonalidade impõem restrições à implantação (SARVAS; PAVLENDÁ; TAKÁCOV, 2007), é a principal justificativa do uso de polímeros hidroabsorventes na silvicultura, principalmente na implantação de florestas e nos reflorestamentos (FELIPPE et al., 2016; TEO; CORREA; DENARDIN, 2014). No entanto, em algumas situações de campo a aplicação de polímero hidretentor não ocasiona resultados satisfatórios na sobrevivência e no crescimento como observado por Venturoli et al. (2013), ao estudarem a adição de polímero e irrigação no desenvolvimento de espécies florestais nativas do bioma Cerrado plantadas em área degradada.

2.4 PLANTIOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO CAMPO

Os reflorestamentos, normalmente, são realizados em solos não utilizados para a agricultura. No Brasil, existem extensas áreas degradadas e de reserva legal aptas à implantação de florestas que podem ser, preferencialmente, recompostas e manejadas com espécies nativas (BRASIL, 2007). Assim, uma possibilidade para o uso do solo e recuperação de áreas de preservação permanente e reserva legal é a silvicultura de espécies arbóreas com potencial ecológico e econômico.

No entanto, tornam-se necessários estudos relacionados à implantação e à adequada fertilização das espécies nativas, o que possibilitará maximizar a sobrevivência e o crescimento das mesmas, refletindo em menores custos de implantação, manutenção e maior produtividade. Para isto, os plantios devem ser realizados em solos que apresentam condições mínimas para que as plantas possam ter um desenvolvimento satisfatório (BELLOTE; NEVES, 2001), ou por meio de correções que a possibilitem expressar seu real potencial de crescimento.

Para que os plantios das espécies arbóreas nativas se tornem economicamente viáveis, considera-se necessária a utilização de mudas de qualidade, técnicas adequadas de plantio e condução, com o desenvolvimento de programas de fertilização, observando-se as exigências edafoclimáticas e ecológicas de cada espécie por meio dos atributos morfológicos e fisiológicos. Nesse sentido, a silvicultura tem como objetivo proporcionar condições favoráveis para o crescimento das espécies arbóreas.

Tais evidências foram constatadas em estudos com mudas de qualidade (ABREU et al., 2015; DELARMELINA et al., 2013; GASPARIN et al., 2014), as quais reduzem a intensidade dos tratos culturais devido ao maior vigor (FREITAS et al., 2013) e maximizam a sobrevivência e o crescimento inicial (LIMA et al., 2008). Além disso, para que haja maior sobrevivência e crescimento inicial, outros fatores são envolvidos, como o tipo de solo, compactação, acidez e fertilidade (HIGA; MORA; HIGA, 2000).

Conforme a CQFS-RS/SC (2016), a maioria das espécies florestais responde à calagem e a adubação. Essas espécies necessitam nos estágios iniciais de crescimento de um aporte mais elevado de N, P e K para seu estabelecimento. Após a implantação, a quantidade de fertilização é reduzida ou até mesma cancelada em função do desenvolvimento do sistema radicular e da ciclagem de nutrientes oriundos da deposição da serapilheira (CQFS-RS/SC, 2016).

Os solos da região Sul do Brasil, normalmente, fornecem o suprimento adequado de micronutrientes para as culturas florestais. Assim, a aplicação desses se justifica apenas quando detectada deficiência por meio de diagnose visual e confirmada por análise de solo ou foliar. Contudo, as faixas de níveis adequados de nutrientes no tecido, quando disponíveis para a cultura, ainda são baseadas em conjunto restritos de dados, indicando cautela na utilização (CQFS-RS/SC, 2016).

Aliado a isso, é fundamental que as práticas de plantio, garantam boas condições ao sistema radicular (GOMES et al., 2003). Dessa forma, muitas vezes é necessário realizar subsolagem e/ou aberturas de covas (NAVE et al., 2009). Outro aspecto importante na implantação é a restrição hídrica durante o período de plantio (VALE; CARVALHO; PAIVA, 2006).

As mudas devem ser plantadas, preferencialmente, em dias nublados e com maior probabilidade de precipitação (DUBOC, 2004), para que a intensidade da insolação (temperatura) e as irregularidades pluviométricas não influenciem na sobrevivência das mudas (BAGGIO et al., 2009). Como muitas vezes não é possível realizar o plantio no momento adequado devido à instabilidade climática, Baggio et al. (2009) recomendaram a utilização de polímeros hidroretentores, para evitar prejuízos com replantio, pela capacidade de absorção e liberação de água às plantas, em períodos de maior e menor disponibilidade hídrica, respectivamente.

Após o plantio, devem ser realizadas práticas de manutenção, como controle de formigas com o uso de iscas e da mato-competição por meio de capinas (química e mecânica) e roçadas (NAVE et al., 2009).

2.5 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

A qualidade das plantas é verificada por características morfológicas e fisiológicas que controlam a capacidade de sobrevivência após o plantio no campo (FONSECA et al., 2002) e crescimento (RUBIRA; BUENO, 1996).

O conceito de qualidade não é absoluto e fatores como a espécie e/ou o lugar do plantio das mudas influenciam nessa definição. Além disso, a muda de boa qualidade para determinada região pode não ser apropriada para outra, pois depende das condições edafoclimáticas. Assim como, as espécies arbóreas nativas não podem ter o mesmo critério de

qualidade definido como o das espécies exóticas, pois cada uma possui especificidades morfológicas, fisiológicas e bioquímicas.

A qualidade de mudas pode se basear em aspectos fenotípicos e genotípicos. Normalmente é determinada por atributos morfológicos (fenotípicos) por serem de fácil mensuração (TSAKALDIMI; GANATSAS; JACOBS, 2013), tais como altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca radicular (MSR), podendo ainda ser destacada as relações H/DC; H/MSPA; MSPA/MSR; e índice de qualidade de Dickson, como complementares (CARNEIRO, 1995; GOMES; PAIVA 2011; RITCHIE et al., 2010).

A área foliar (AF) é um indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, a qual é influenciada pela dimensão do sistema fotoassimilador (FAVARIN et al., 2002).

Associado a esses atributos de crescimento, Campoe et al. (2014) e Cooke e Suski (2008), mencionaram que é importante mensurar os atributos fisiológicos (internos), pois apesar dos morfológicos disponibilizarem resultados importantes, os mesmos não demonstram com exatidão as alterações no metabolismo das plantas causadas por algum estresse.

As plantas quando submetidas a fatores estressantes, inicialmente, não expressam alterações morfológicas, entretanto, danos no metabolismo podem ser evidenciados com a avaliação dos atributos fisiológicos (PANDA et al., 2008), o que morfológicamente poderá ser observado mais tarde. Nesse momento, é possível a interferência mediante práticas silviculturais, minimizando danos em produtividade. Assim, o uso de atributos como o teor de clorofila *a*, *b* e carotenoides, fluorescência da clorofila *a*, enzimas antioxidantes, entre outros, permitem avaliar o efeito de diferentes tipos de estresses sobre a fotossíntese e sistema de defesa da planta causado por algum estresse como a deficiência nutricional (BAKER, 2008).

Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas *a*, clorofila *b* e os carotenoides. Esses pigmentos são responsáveis pela absorção de luz em distintas regiões do espectro, e quanto maior o teor desses na planta, teoricamente maior será a eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, Afonso et al. (2012), destacam que esses atributos podem ser utilizados na avaliação do desempenho potencial de espécies florestais.

A fluorescência da clorofila *a* é uma via de dissipação da energia luminosa excedente, na qual ocorre a emissão da radiação na região do visível (vermelho e vermelho distante).

Essa variável tem sido utilizada para avaliar o efeito de diferentes tratamentos sobre o metabolismo fotossintético da planta, pois quanto maior for esse valor, maior a quantidade de energia que não está sendo convertida em fotoassimilados (RITCHIE et al., 2010).

A emissão de fluorescência da clorofila *a* representa a perda de energia, o que permite avaliar o efeito de estresses sobre a fotossíntese (ZANANDREA, 2006). A partir disso, são estimados atributos referentes ao desempenho funcional do fotossistema II (PSII) como a fluorescência inicial (F_o), a fluorescência máxima (F_m), a fluorescência variável (F_v), e a relação entre esses parâmetros, como a eficiência quântica do PSII (F_v/F_m e F_v/F_o), e a taxa de transporte de elétrons (ETR) (KRAUSE; WEISS, 1991).

3 CAPÍTULO I – BENEFÍCIOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE PLANTAS DE *Cordia trichotoma*

RESUMO

No Brasil, grande parte das espécies arbóreas nativas de interesse econômico e ambiental, como a *Cordia trichotoma*, ainda dependem de informações nutricionais, principalmente em relação à demanda de fósforo (P), o qual possui baixa disponibilidade nos solos onde essa espécie ocorre naturalmente. Assim, esta pesquisa teve como objetivo verificar as características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas de plantas de *C. trichotoma* submetidas a aplicação de doses de P cultivadas na presença e ausência de polímeros retentores. O experimento foi conduzido testando quatro doses de P (0, 120, 240 e 360 kg de P₂O₅ ha⁻¹) na presença polímero hidroretentor (5 g L⁻¹ por muda⁻¹) e sua ausência (0 g L⁻¹). O uso do polímero não influenciou na sobrevivência, nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das mudas. A ausência da fertilização fosfatada reduziu o crescimento, a produção de matéria seca, a concentração de pigmentos fotossintéticos, o aproveitamento da energia luminosa e o teor de P no tecido. A dose média de 220 kg de P₂O₅ ha⁻¹ proporcionou às plantas maior altura, diâmetro do coleto, matéria seca aérea e radicular, e maior concentração de pigmentos fotossintéticos e aproveitamento da energia luminosa pelo PSII. A mensuração da emissão de fluorescência da clorofila *a* e da atividade da enzima fosfatase podem ser utilizadas para identificar alterações no metabolismo das plantas causadas pela baixa disponibilidade de P, viabilizando o monitoramento da necessidade de adubação fosfatada. Valores próximos a 0,66 para o Fv/Fm podem ser considerados adequados para mudas saudáveis dessa espécie. A maior disponibilidade de P, aumentou o influxo e o acúmulo desse elemento, assegurando maior concentração na planta. Recomenda-se o uso de 220 kg de P₂O₅ ha⁻¹ para as mudas obterem maior crescimento e produção de matéria seca, não sendo necessário utilizar polímero hidroretentor.

Palavras-chave: Louro-pardo. Nutrição fosfatada. Atributos morfológicos. Fluorescência. Fotossistema II.

BENEFITS OF FOSPHATED FODDER IN GROWTH, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ATTRIBUTES OF PLANTS OF *Cordia trichotoma*

ABSTRACT

In Brazil, most native tree species of economic and environmental interest, such as *Cordia trichotoma*, still depend on nutritional information, mainly in relation to the demand for phosphorus (P), which has low availability in the soils where this species occurs naturally. The aim of this research was to verify the morphological, physiological and biochemical characteristics of *C. trichotoma* plants submitted to the application of doses of P cultivated in the presence and absence of retaining polymers. The experiment was conducted on a Sandy Typic Hapludalf, testing four doses of P (0, 120, 240 and 360 kg of P₂O₅ ha⁻¹) in the presence of water-retaining polymer (5 g L⁻¹ per seedling⁻¹) and its absence (0 g L⁻¹). The use of the polymer did not influence the survival, morphological, physiological and biochemical attributes of the seedlings. The absence of phosphate fertilization reduced growth, dry matter production, concentration of photosynthetic pigments, the use of light energy and P content in the tissue. The average dose of 220 kg of P₂O₅ ha⁻¹ provided the plants with greater height, stem diameter, aerial and radicular dry matter, and higher concentration of photosynthetic pigments and use of light energy by PSII. The measurement of chlorophyll *a* fluorescence emission and phosphatase enzyme activity can be used to identify changes in plant metabolism caused by low P availability, making it possible to monitor the need for phosphate fertilization. Values close to 0.66 for Fv/Fm can be considered suitable for healthy seedlings of this species. The higher availability of P increased the influx and accumulation of this element, ensuring greater concentration in the plant. It is recommended to use 220 kg ha⁻¹ of P₂O₅ to obtain higher growth and seedling dry matter production, and it is not necessary to use hydro-polymer.

Keywords: Louro-pardo. Phosphate nutrition. Morphological attributes. Fluorescence. Photosystem II.

3.1 INTRODUÇÃO

A maior dificuldade na formação de florestas no Brasil está associada à sua implantação em regiões de baixa aptidão, onde os solos apresentam baixa fertilidade natural (GONÇALVES et al., 2008a). Além disso, grande parte dos solos brasileiros possuem baixa disponibilidade de fósforo (P) (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007), devido à baixa mobilidade deste elemento no solo e forte adsorção pelos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (BORTOLUZZI et al., 2015; FINK et al., 2014, 2016).

Para as espécies florestais, o P apresenta grande importância, sendo considerado um dos nutrientes limitantes para o crescimento, principalmente, na fase de estabelecimento da floresta e para a produção de biomassa aérea (CROUS et al., 2015; PLASSARD; DELL, 2010; STAHL et al., 2013). Assim, sob tais circunstâncias, faz-se necessário a adição de fertilizantes fosfatados para assegurar o adequado desenvolvimento das plantas (GONÇALVES et al., 2008b).

Embora a flora brasileira apresente espécies arbóreas com interesse econômico, a maioria das experiências com fertilização fosfatada ocorreram em plantios de espécies exóticas, principalmente do gênero *Eucalyptus* (DIAS et al., 2014; GONÇALVES et al., 2000, 2008a, 2008b, 2013; STAHL et al., 2013). No entanto, não está claro se as respostas à adição de P no solo são semelhantes para espécies arbóreas nativas, tendo em vista que essas podem apresentar capacidade diferenciada quanto a absorção, translocação, acúmulo e aproveitamento dos nutrientes (STAHL et al., 2013).

Outra técnica pouco estudada em plantios de arbóreas nativas é o reabastecimento de água às plantas, como alternativa para evitar a alta mortalidade devido a incapacidade das mudas manterem a hidratação adequada (THOMAS, 2008a). Diante disso, algumas iniciativas como o uso de polímeros retentores de água têm sido realizadas com o objetivo de manter o sistema radicular das mudas hidratado logo após o plantio, para amenizar as taxas de mortalidades e favorecer o crescimento em períodos de restrição hídrica (FELIPPE et al., 2016; TEO; CORREA; DENARDIN, 2014), comuns no verão na região Sul do Brasil (WREGGE et al., 2012). Esses polímeros possuem capacidade de absorver água nos períodos de disponibilidade hídrica e liberar às raízes das plantas quando há déficit hídrico no solo (LECIEJEWSKI, 2009).

Para a maioria das espécies arbóreas nativas de importância ambiental e comercial do Brasil, as alterações que o incremento do teor de P disponível no solo e uso de polímeros

retentores não são conhecidas em plantios, sabendo-se pouco da sua ação no metabolismo e no crescimento das plantas. Entre essas espécies, destaca-se a *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. (louro-pardo), pertencente à família Boraginaceae, amplamente distribuída em florestas tropicais e subtropicais na América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai) (CARVALHO, 2003; SOBRAL et al., 2006). Essa espécie possui madeira de alto valor econômico agregado, em razão da qualidade, trabalhabilidade e bom acabamento, sendo muito utilizada para fabricação de móveis de luxo, persianas e revestimento decorativo. Tais características indicam a espécie como uma das árvores nativas madeireiras prioritárias para integrar plantios na região sul do Brasil (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

Na avaliação do desempenho das mudas nos plantios, geralmente são utilizados atributos morfológicos como indicadores de crescimento (RITCHIE et al., 2010). No entanto, é importante mensurar também, os atributos fisiológicos e bioquímicos, os quais fornecem informações quanto à capacidade de estabelecimento, plasticidade do aparato fotossintético (AFONSO et al., 2012), danos no metabolismo (PANDA et al., 2008) e sistema de defesa da planta, causado por deficiência nutricional (BAKER, 2008).

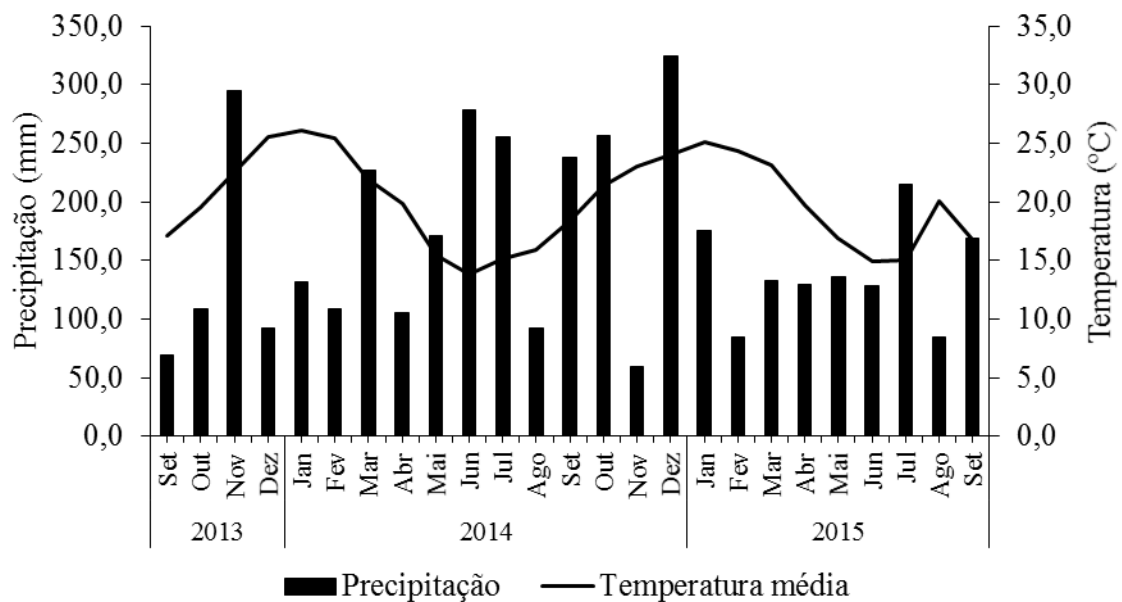
Dessa forma, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de verificar as características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas de plantas de *C. trichotoma* submetidas a aplicação de doses de P na presença e ausência de polímeros hidroretentores no plantio de mudas no campo. Pretende-se responder esse objetivo a partir dos seguintes questionamentos: a) O uso de polímeros influencia a sobrevivência, os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das mudas? b) qual a dose de fósforo proporciona o maior crescimento? c) quais atributos podem ser utilizados para identificar alterações no metabolismo causadas pela baixa disponibilidade de fósforo? d) quais atributos podem ser utilizados para monitorar a necessidade de adubação fosfatada nas mudas?

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Descrição da área experimental

O estudo foi realizado de setembro de 2013 a setembro de 2015 em Santa Maria, a 120 metros de altitude, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (29° 47' 37" S, 53° 40' 08" O). O clima da região, é do tipo fundamental Cfa, subtropical úmido, caracterizado por apresentar temperatura do ar média do mês mais frio entre -3 e 18 °C, do mês mais quente superior a 22 °C, e precipitação média anual de 1.769 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013). De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante a condução do experimento a precipitação e a temperatura do ar média foram 162,8 mm e 20 °C, respectivamente (Figura 1).

Figura 1- Dados meteorológicos precipitação (mm) e temperatura do ar média mensal (°C) durante o período de condução do plantio no campo, registrados no Município de Santa Maria, RS



Fonte: BDMET/INMET (2017).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 1 são descritos os atributos físicos e químicos da área.

De maneira geral, segundo a classificação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2004), o pH indica solo muito ácido ($\text{pH} < 5,0$), o teor de matéria orgânica é muito baixo ($< 2,5\%$), o teor de fósforo (P) disponível é muito baixo e o de potássio (K) trocável é baixo.

Tabela 1- Atributos físicos e químicos do solo na camada 0,0-0,20 metros da área de plantio, Santa Maria, RS, Brasil

Atributos	Valores
Argila ⁽¹⁾ (g kg^{-1})	150
Silte ⁽¹⁾ (g kg^{-1})	120
Areia ⁽²⁾ (g kg^{-1})	730
Matéria orgânica ⁽³⁾ (g kg^{-1})	20
Saturação por bases (g kg^{-1})	349
pH em H_2O ⁽³⁾ (1:1)	4,6
P disponível ⁽⁴⁾ (mg dm^{-3})	2,2
K trocável ⁽⁴⁾ (mg dm^{-3})	40
Ca trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm^{-3})	1,8
Mg trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm^{-3})	0,5
Al trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm^{-3})	0,7
Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (cmolc dm^{-3})	6,8
Índice SMP ⁽²⁾	6,0

⁽¹⁾ Método da pipeta (Embrapa, 1997); ⁽²⁾Peneira; ⁽³⁾Determinado segundo Tedesco et al. (1995); ⁽⁴⁾ Extraído por Mehlich⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al.,1995).

Fonte: O autor (2017).

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado em delineamento blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, considerando que os níveis do fator “A” referiram-se às doses de fósforo (0, 120, 240 e 360 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$), e os níveis do fator “B”, à presença de polímero hidroretentor (5 g L⁻¹ de água muda⁻¹) e ausência (0 g L⁻¹ de água muda⁻¹). Foram utilizados quatro blocos, cada um constituído por oito parcelas compostas por 16 plantas, sendo avaliadas as quatro centrais.

A fonte de P foi o superfosfato triplo e as doses, equivaleram a: 0, 100, 200 e 300 % da recomendação de adubação para cultura do eucalipto, com base nos atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1), segundo a CQFS-RS/SC (2004), uma vez que não há recomendação para *C. trichotoma*.

O polímero hidroretentor (Hydroplan[®]), também denominado hidrogel, é um produto misto de copolímero de acrilamida ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$) e acrilato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), 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, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão). A dose 5 g L^{-1} de água muda⁻¹ de polímero correspondeu à recomendada pelo fabricante. O polímero foi hidratado uma hora antes de sua aplicação, a qual ocorreu na cova instantes antes do plantio.

3.2.3 Preparo da área e plantio das mudas

No preparo da área foi realizada roçagem total e, a partir da análise do solo (Tabela 1), 30 dias antes do plantio, efetuou-se a correção da acidez de acordo com índice SMP, para elevar o pH até atingir o nível de 5,5. A calagem foi realizada a lanço e sem incorporação com calcário dolomítico [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] com poder relativo de neutralização total de 76%. Além disso, aplicou-se herbicida sistêmico não seletivo [Glifosato - N (phosphonomethyl) glycine] na dosagem de $3,5 \text{ L ha}^{-1}$, cinco dias antes do plantio, para controle de plantas daninhas.

Para o plantio foram abertas covas nas dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm, de forma manual com auxílio de pá de corte, em espaçamento de 3 m x 2 m. Posteriormente, nos tratamentos com presença do polímero hidroretentor, foi adicionado um litro do hidrogel hidratado.

O plantio (03/09/2013) foi realizado com o solo úmido após a ocorrência de chuvas, utilizando mudas produzidas em recipientes do tipo tubete de polipropileno com capacidade de 280 cm^3 , preenchidos com composto de terra de subsolo, substrato comercial a base de turfa e casca de arroz carbonizada na proporção de 2:1:1 (v:v:v). Na adubação de base foram utilizadas 9 g L^{-1} de fertilizante de liberação controlada (Osmocote[®] 15-09-12 Mini Prill). As mudas apresentavam em média altura de 40 cm e diâmetro do coleto de 5,5 mm.

Imediatamente após o plantio, realizou-se irrigação com um litro de água por muda, para eliminar possíveis formações de bolsas de ar entre o torrão da muda e o solo e proteger o sistema radicular contra a desidratação. Além disso, todas as mudas foram fertilizadas com 50 kg ha^{-1} de nitrogênio e 45 kg ha^{-1} potássio, usando como fonte ureia e cloreto de potássio, respectivamente. A aplicação dos fertilizantes foi realizada após o plantio, em covetas laterais distantes, aproximadamente, 15 cm da muda.

Sempre que necessário foi realizado controle das formigas-cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* com iscas granuladas (à base de Fipronil e Sulfluramida) e das plantas

indesejadas com capina manual (coroamento), roçada ou capina química utilizando herbicida sistêmico não seletivo [Glifosato - N- (phosphonomethyl) glycine].

3.2.4 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas

Aos 24 meses após o plantio (m.a.p.), avaliou-se a sobrevivência das mudas. Concomitantemente, foram medidas a altura (H) e o diâmetro do coleto (DC) das plantas com régua milimetrada e paquímetro digital (precisão de 0,01 mm), respectivamente. A parte aérea de uma planta por parcela foi cortada rente à superfície do solo, separada em folhas, galhos e caule, e seca em estufa de circulação forçada a 70 °C até peso constante, para determinação da matéria seca aérea (MSA) em balança analítica (0,001g).

A área foliar (AF), primeiramente, foi determinada em 30 folhas (AF30F) de três plantas por tratamento que depois de coletadas, foram distribuídas sobre papel branco com escala milimétrica, prensadas por vidro transparente e fotografadas com câmera digital com zoom de 1,4 (SONY Cyber-shot, 8.1 megapixels). As imagens foram tratadas (ajuste do contraste e brilho) e processadas para determinação da AF, com auxílio do *software* Image J. Essas folhas foram secas a 70 °C em estufa com ar forçado até peso constante, para determinação da matéria seca (MS30F). Posteriormente, conforme adaptações da metodologia descrita por Coelho Filho et al. (2012), foi estimada a AF total da planta utilizando a seguinte fórmula:

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

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

Para coleta das raízes, não foi considerado o polímero, sendo analisado apenas o efeito das doses de P (0, 120, 240 e 360 kg de P₂O₅ ha⁻¹), utilizando quatro repetições por tratamento. As raízes foram retiradas e separadas manualmente do solo, sendo posteriormente, lavadas com água corrente. Para obter a matéria seca radicular (MSR), o material foi seco em estufa com ar forçado a 70 °C até peso constante, e determinado com auxílio de balança analítica (0,01g).

3.2.5 Avaliação da fluorescência da clorofila *a*

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada em folhas aos 24 m.a.p., usando fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik, Germany). As medições foram realizadas durante à manhã (8:00-11:00 h) em dias ensolarados, usando a primeira folha totalmente expandida (SOUZA et al., 2013), de três plantas por tratamento. Previamente, a folha foi adaptada ao escuro por 30 minutos para medição da fluorescência inicial (F_o) 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). O rendimento quântico máximo PSII (F_v/F_m) foi obtido por meio da razão da fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e a fluorescência máxima.

3.2.6 Determinação de pigmentos fotossintéticos

As folhas utilizadas para avaliar a fluorescência da clorofila *a* foram coletadas e congeladas em N_2 líquido, para a análise dos pigmentos fotossintéticos. Nas folhas foram analisados os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e carotenoides, conforme a metodologia descrita por Hiscox e Israelslam (1979), em que 0,05 g de amostra fresca de folhas foram incubadas com dimetilsulfóxido (DMSO), a 65°C por duas horas. As concentrações de pigmentos foram calculadas depois da leitura das absorvâncias em espectrofotômetro modelo Celm E-205D (Bel Engineering, Itália), a 663, 645 e 480 nm, respectivamente, de acordo com a metodologia de Lichtenthaler (1987).

3.2.7 Atividade da enzima fosfatase ácida

As mesmas amostras de folhas utilizadas na análise dos pigmentos fotossintéticos, foram maceradas com N_2 líquido e homogeneizadas em tampão Tris/HCl (0,1 M), EDTA (0,001 M) e albumina (0,1 g) (pH 7,4). Em seguida, as amostras foram filtradas e centrifugadas a $20.000 \times g$ por 30 min e o sobrenadante resultante foi utilizado para a determinação da atividade da enzima fosfatase ácida, conforme Tabaldi et al. (2007).

O teor de fosfato inorgânico (Pi) foi medido a 630 nm usando verde malaquita como reagente colorimétrico e KH_2PO_4 , padrão para a curva de calibração, utilizando o espectrofotômetro (Celm E-205D) para leitura das amostras. As atividades específicas da

enzima foram relatadas como $\text{nmol Pi liberado min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína. A proteína foi determinada pelo método de Bradford (1976), usando albumina sérica bovina como padrão.

3.2.8 Teor de P nos tecidos vegetais

Para determinação do teor de P no tecido, primeiramente as folhas, galhos, caule e raízes foram secos em estufa com ar forçado a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ até peso constante. Em seguida, os galhos, caules e raízes foram seccionados manualmente e triturados em triturador de facas do tipo forrageiro.

Posteriormente, as amostras de cada órgão foram moídas em moinho do tipo Willey, passadas em peneira com malha de 20 mesh e, em seguida, submetidas a digestão nitroperclórica, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). No extrato foi analisado o teor de P em espectrofotômetro modelo SF325NM (Bel Engineering, Itália).

3.2.9 Análise de P disponível no solo

A coleta de solo foi realizada com auxílio de trado calador. Para cada tratamento foram coletadas quatro amostras de solo aos 24 meses de cultivo, nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. O solo foi seco ao ar, passado em malha de 2 mm e submetido a extração de P (extrator Mehlich⁻¹). O P foi determinado em espectrofotômetro modelo SF325NM (Bel Engineering, Itália) (TEDESCO et al., 1995).

3.2.10 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, por meio do *software* Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA), sendo os dados analisados segundo o modelo: $Y_{ijk} = m + b_j + a_i + d_k + ad_{ik} + \delta_{ijk}$ onde: Y_{ijk} é o valor observado referente a cada muda avaliada; m é uma constante; b_j é o efeito dos blocos; a_i é o efeito fixo das doses de P; d_k é o efeito fixo do polímero hidroretentor; ad_{ik} é o efeito da interação entre as doses de P e o polímero hidroretentor; e δ_{ijk} é o efeito do erro aleatório incidente em cada unidade experimental.

Assim, quando constatada diferença entre os tratamentos, foi efetuada a análise de regressão polinomial (α 0,05) para o fator quantitativo e teste t para o fator qualitativo, utilizando o pacote estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas

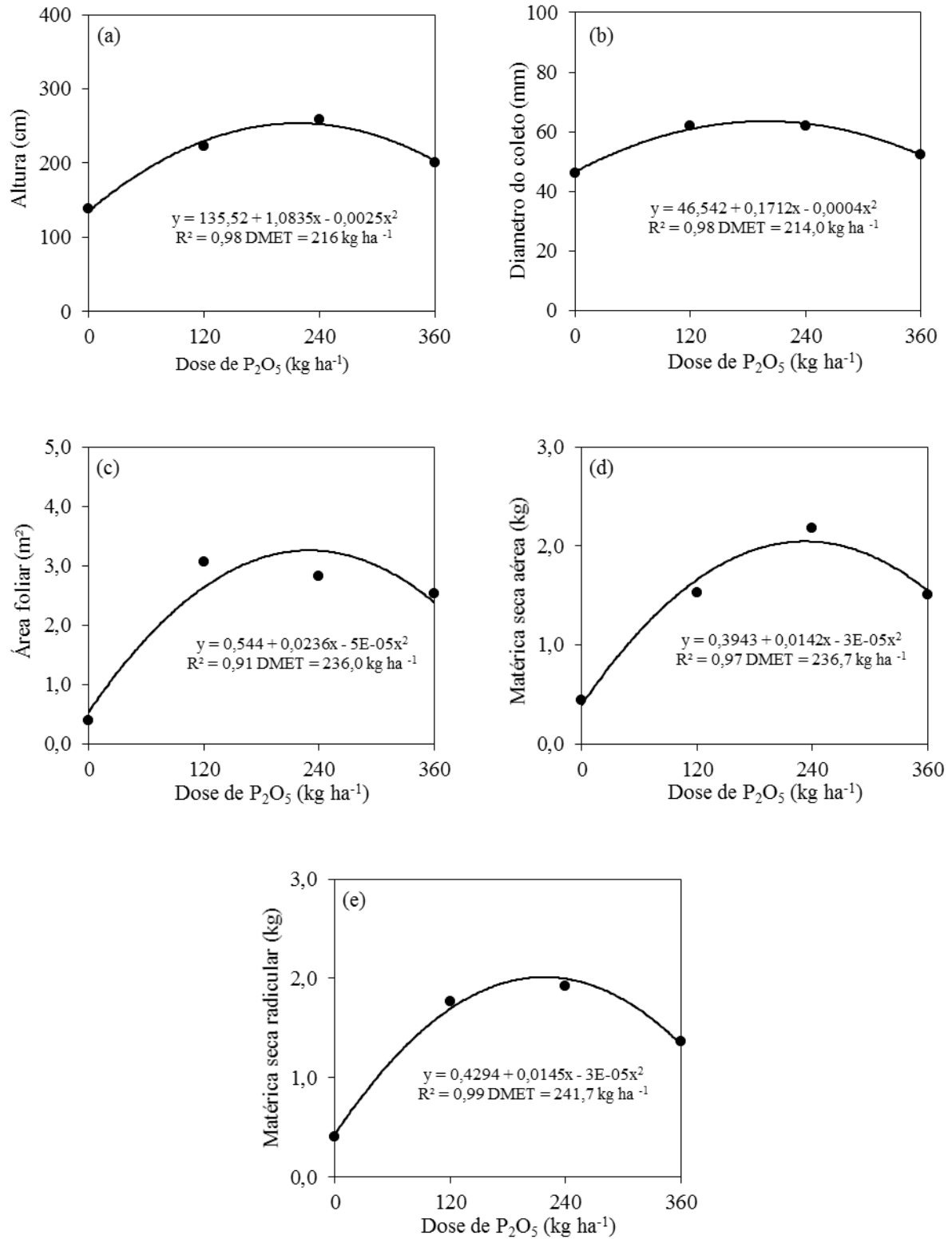
A taxa de sobrevivência das mudas de *C. trichotoma* aos 24 m.a.p. foi de 100%, independente da dose de P utilizada e da presença ou ausência do polímero hidroretentor. As doses de P interferiram significativamente ($p < 0,05$) nos atributos morfológicos altura, diâmetro do coleto, área foliar, matéria seca aérea e matéria seca radicular, sem interferência do polímero hidroretentor de água (Apêndice 1). Os valores desses atributos aumentaram de forma quadrática com o incremento das doses de P no solo (Figura 2).

Os maiores valores para altura (252,9 cm) nas mudas foram observados na dose de máxima eficiência técnica (DMET) de 216,0 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Nessas condições, o crescimento das mudas foi 83,56 % superior ao observado nas plantas sem aplicação de P. Quando adicionados 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} , houve redução no crescimento das mudas, na presença e ausência do polímero (Figura 2a), mas com valores superiores à testemunha.

As mudas que não receberam adubação fosfatada apresentaram os menores valores de diâmetro do coleto (DC) (média de 46,22 mm). Este atributo aumentou até a dose de máxima eficiência técnica (DMET). Em média para plantas cultivadas com e sem o polímero a DMET foi de 214,0 kg de P_2O_5 ha^{-1} , com DC médio de 64,86 mm. A partir desse ponto as plantas apresentaram menores valores em DC. A ausência de adubação e dosagens excessivas de P ocasionaram um menor DC (Figura 2b).

A área foliar (AF) das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sem adição de P foi menor (Figura 2c) em relação às adubadas. Nas plantas submetidas a essas condições, a AF (0,40 m^2) foi em média 8,3 vezes menor que o observado nas plantas com aplicação da DMET de 236,0 kg de P_2O_5 ha^{-1} (Figura 2c).

Figura 2- Altura (a), diâmetro do coleto (b), área foliar (c), matéria seca aérea (d), matéria seca radicular (e) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio



Fonte: O autor (2017).

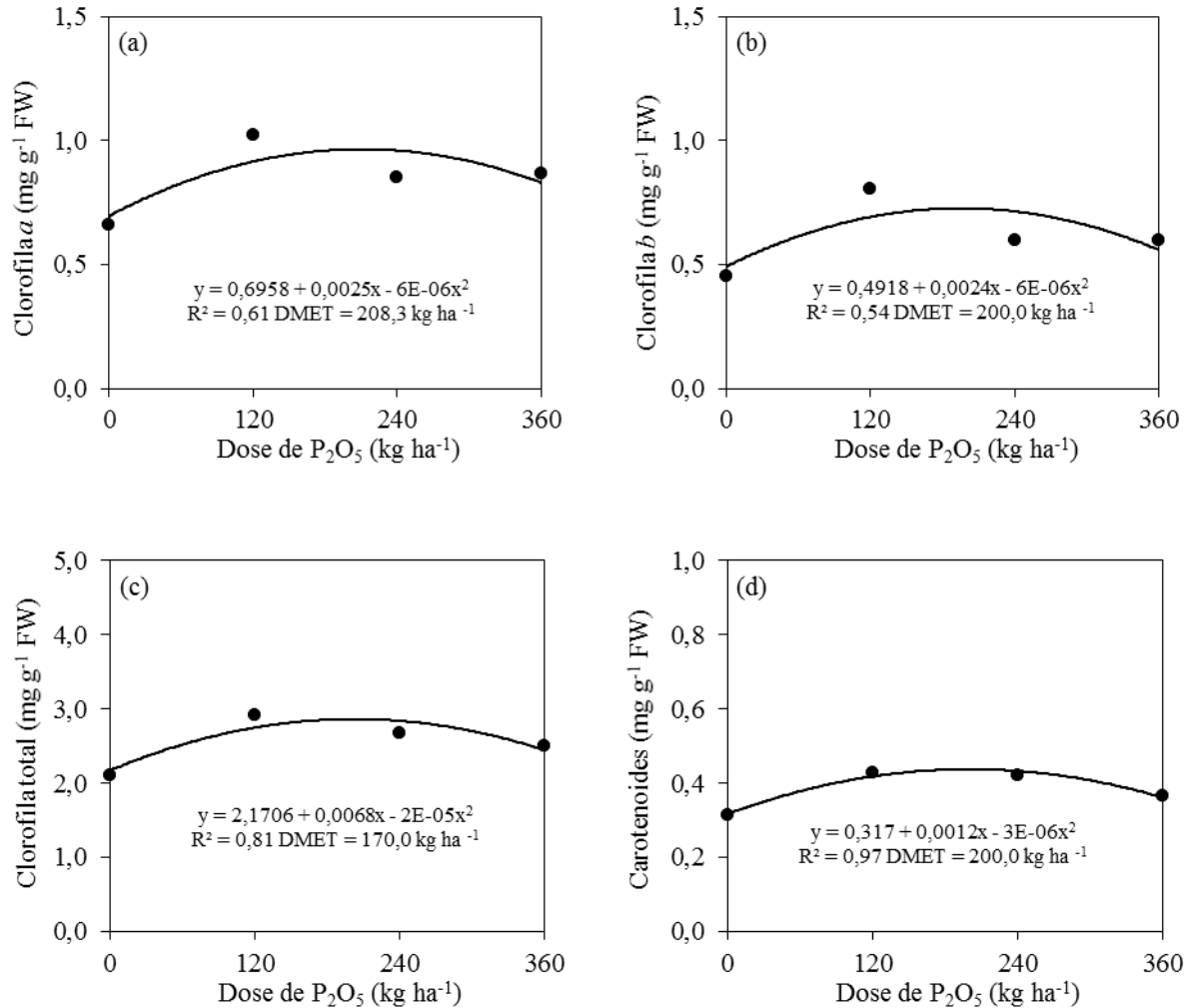
A produção de matéria seca aérea (Figura 2d) e radicular (Figura 2e) aumentou de forma quadrática, com o acréscimo da dose de P aplicada no solo. Os maiores valores foram encontrados quando utilizados cerca de 236,7 e 241,7 kg de P_2O_5 ha^{-1} , respectivamente. Nos tratamentos sem a adição de P, houve uma redução significativa na produção de matéria seca quando comparado com os demais tratamentos. Houve um decréscimo no acúmulo de matéria seca aérea e radicular quando utilizados 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} , independentemente da utilização do polímero hidrorretentor. Mesmo com esse decréscimo, os valores foram superiores às plantas sem adubação de P.

3.3.2 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total) e carotenoides nas plantas de *C. trichotoma* foram influenciados pelas doses de P adicionadas no solo ($p < 0,05$), sem interferência da aplicação do polímero hidrorretentor (Apêndice 2). Os teores de pigmentos apresentaram comportamento quadrático crescente (Figura 3).

De forma geral, as concentrações dos pigmentos fotossintéticos apresentaram tendência semelhantes, sendo os menores teores observados nas mudas não adubadas com P. A DMET variou entre os pigmentos, porém, em média foi de 194,57 kg de P_2O_5 ha^{-1} . A partir dessa dose as plantas cultivadas em solo com a adição de 240 e 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} mostraram diminuição no conteúdo de Chl *a*, Chl *b*, Chl total e carotenoides (Figura 3), sendo que esse comportamento foi mais perceptível nos teores de Chl *b* (Figura 3b). Por outro lado, os níveis de carotenoides são os que menos apresentaram variações pelas doses de P (Figura 3d).

Figura 3- Teor de clorofila *a* (a), clorofila *b* (b), clorofila total (c) e carotenoides (d) em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidretentor, 24 meses após o plantio



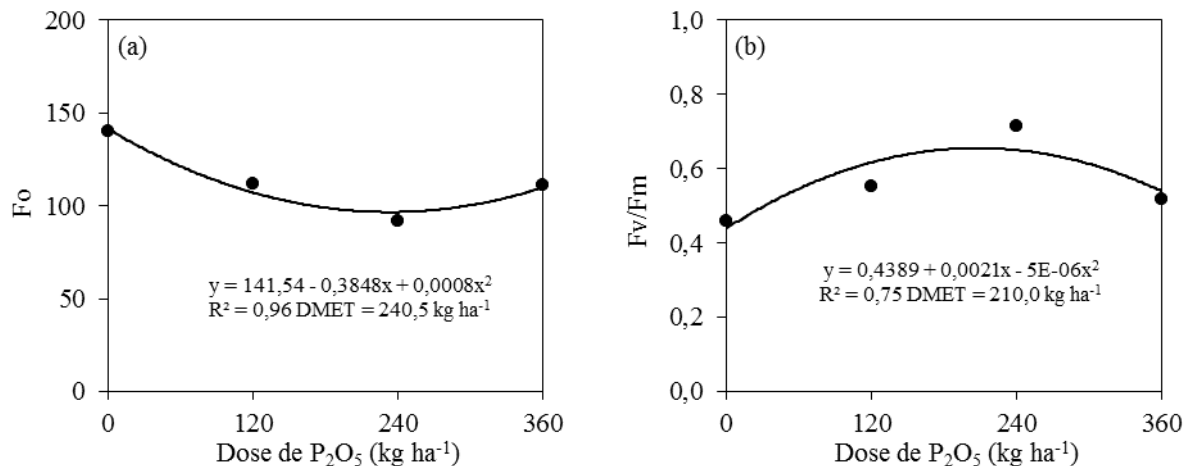
Fonte: O autor (2017).

3.3.3 Fluorescência da clorofila *a*

Os atributos fisiológicos, fluorescência inicial (F_0) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) demonstraram que a adição de P no solo influenciou significativamente ($p < 0,05$) a atividade fotossintética (eficiência fotoquímica) das mudas de *C. trichotoma*, independentemente da utilização do polímero hidretentor no plantio (Apêndice 3). Os menores valores de F_0 foram observados nas mudas fertilizadas com 240,5 kg de P₂O₅ ha⁻¹, com menor perda de energia fotoquímica (52,08 %) em relação às cultivadas sem adubação

(Figura 4b). A dose 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} desencadeou aumento da perda de energia fotoquímica, mas mesmo assim com valores menores que no controle, caracterizando de forma geral um comportamento quadrático decrescente para os valores de F_o (Figura 4).

Figura 4- Fluorescência inicial (F_o) (a) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) (b) em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidrorretentor, 24 meses após o plantio



Fonte: O autor (2017).

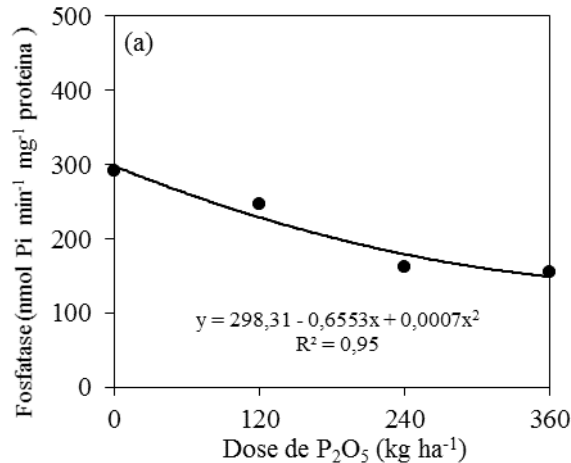
A eficiência quântica máxima do PII das plantas (F_v/F_m) apresentou comportamento quadrático crescente, com aumento nos valores em resposta à suplementação com P (Figura 4b). A dose de 210,0 kg de P_2O_5 ha^{-1} promoveu o maior rendimento quântico (0,66). Os menores valores do rendimento quântico máximo de PSII foram observados nos tratamentos sem adição de P, com reduções de 41,30 %, em comparação com os valores encontrados quando as mudas foram adubadas com 210,0 kg de P_2O_5 ha^{-1} (Figura 4b).

3.3.4 Enzima fosfatase ácida

Aos 24 m.a.p. a atividade da enzima fosfatase ácida somente foi influenciada ($p=0,0001$) pelas doses de P. Quando as plantas foram cultivadas no solo natural sem adição de P, a atividade da enzima foi de 292,67 $nmol\ Pi\ min^{-1}\ mg^{-1}$ proteína (Figura 5). Observou-se que a fosfatase ácida foi inversamente proporcional a dose de P (Figura 5). Nas mudas

fertilizadas com 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} houve a menor atividade da enzima, demonstrando uma redução média de 79,85% em relação a testemunha.

Figura 5- Atividade da enzima fosfatase ácida em mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio



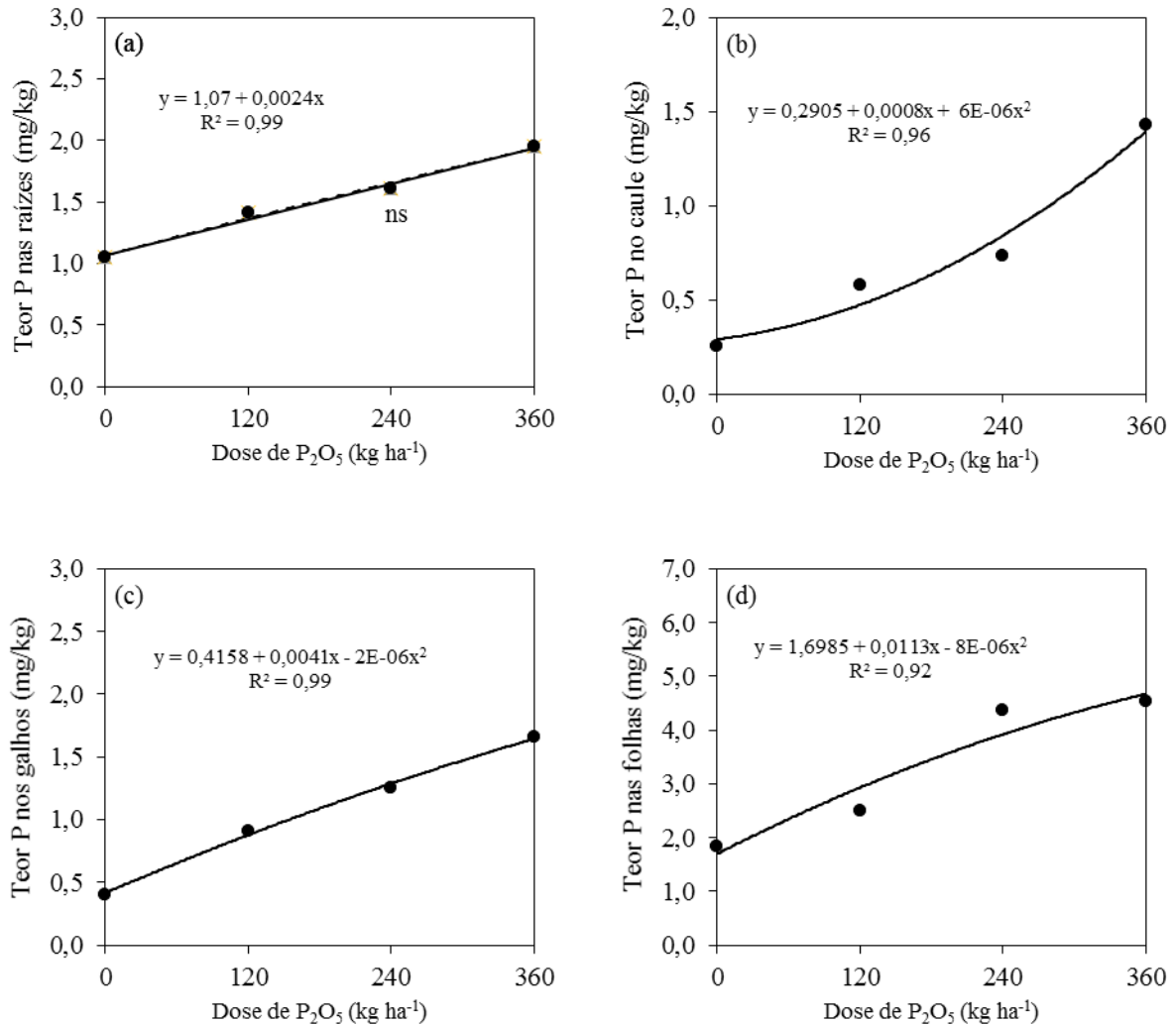
Fonte: O autor (2017).

3.3.5 Teor de P nos tecidos vegetais

O teor de P nas raízes, caule, galhos e folhas das plantas de *C. trichotoma* aumentou conforme a adição de P no solo (Figura 6). Contudo, nas raízes apesar do teor de P ser maior nos tratamentos com 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} , não houve diferença significativa entre as doses testadas ($p=0,1284$). Para os demais órgãos das mudas as doses de P aplicadas no solo influenciaram ($p<0,05$) o acúmulo de nutrientes, independentemente do uso do polímero hidroretentor (Apêndice 4).

O órgão vegetal com maior acúmulo de P foram as folhas (Figura 6). No tratamento sem adição de adubação fosfatada, as plantas alocaram 1,84 mg kg^{-1} de matéria seca de P, sendo em média 144,98 % menor do que os teores observados nas folhas das mudas fertilizadas com 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Além disso, percebe-se que a partir da dose de 240 kg de P_2O_5 ha^{-1} o acúmulo de P no tecido torna-se menos expressivo (Figura 6d).

Figura 6- Teor de fósforo (P) nas raízes (a), caule (b), galhos (c) e folhas (d) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo, na presença e ausência de polímero hidrorretentor, 24 meses após o plantio. ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade



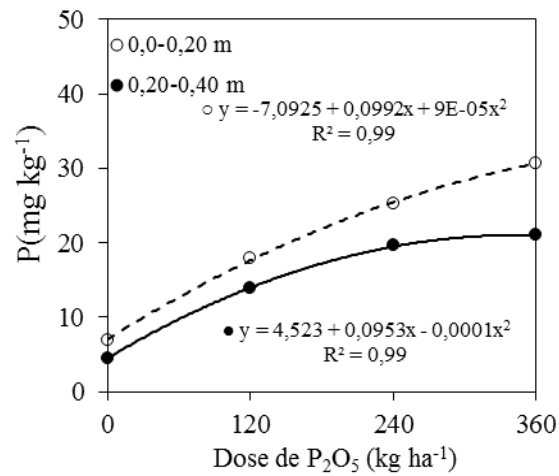
Fonte: O autor (2017).

3.3.6 Teor de P disponível no solo

O teor de P no solo extraído por Mehlich⁻¹ aumentou significativamente (Apêndice 5), com as doses de P adicionada ao solo, sem interferência do polímero hidrorretentor ($p=0,858$). A maior concentração de P foi encontrada na camada mais superficial. Os níveis disponíveis no solo variaram em média 39,4% entre as profundidades. Na camada de 0,0-0,20 m os teores extraídos variaram de 7,02 a 30,76 mg kg⁻¹ e na camada de 0,20-0,40 m de 4,57 a

20,96 mg kg⁻¹ de solo. Quanto maior a dose de P adicionada, maior foi a concentração no solo (Figura 7).

Figura 7- Teor de fósforo (P) disponível no solo nas camadas 0,0-0,20 e 0,20-0,40 metros, dois anos após aplicação de diferentes doses de P₂O₅ em mudas de *C. trichotoma*



Fonte: O autor (2017).

3.4 DISCUSSÃO

3.4.1 Sobrevivência, crescimento e produção de matéria seca das plantas

A sobrevivência de 100% observada nas plantas de *C. trichotoma* cultivadas sob presença ou ausência do polímero hidrotentor, independente da dose de P utilizada, possivelmente está associada ao fato da precipitação média de 156 mm dos três meses iniciais de condução do plantio (Figura 1), ter ocorrido de forma regular. A pluviosidade com adequada intensidade e frequência possivelmente contribuiu para o desenvolvimento das raízes logo após o plantio não sofresse interferência do uso do polímero ou das doses de P. Assim, as raízes das plantas, inclusive das cultivadas sem a presença do polímero se mantiveram hidratadas e se desenvolveram normalmente, mantendo a absorção de nutrientes, sem comprometer o crescimento e o acúmulo de matéria seca.

Dessa forma, na implantação das mudas no campo, quando a frequência de chuvas é maior, o uso do polímero pode ser descartado. Resultados similares ao presente estudo foram obtidos por Barbosa (2011), em 30 espécies arbóreas nativas transplantadas com e sem polímero hidrotentor. Este autor observou que o polímero não influenciou no estabelecimento e crescimento das mudas.

Elevadas taxas de sobrevivência em plantios com a espécie *C. trichotoma* também foi observado por Kelling (2015) e Salvadori et al. (2013) em diferentes tratamentos silviculturais e intensidades de sombreamento, respectivamente. Tal característica indica essa espécie como potencial para uso em plantios de florestamento e reflorestamento destinados a recuperação de áreas alteradas e fins comerciais.

Neste estudo, a manutenção da umidade do solo pelas chuvas provavelmente facilitou a difusão do P mesmo nas mudas cultivadas sem o polímero. Com isso o crescimento e a produção de matéria seca não foi influenciado pelo uso do polímero hidrotentor. Resultados similares foram obtidos por Dranski et al. (2013), que observaram que os tratamentos com a adição do polímero não propiciaram ganhos no crescimento das mudas de *Jatropha curcas* L. em plantios realizados na primavera e no verão.

As plantas cultivadas nos tratamentos sem adubação fosfatada apresentaram os menores valores para os atributos morfológicos (Figura 2). Provavelmente, isto está associado ao fato das plantas em condições de deficiência de P apresentarem; (a) limitações na absorção de luz e no aproveitamento de CO₂, e (b) redução da taxa fotossintética, área foliar,

crescimento radicular e alocação de biomassa (CROUS; ÓSVALDSSON; ELLSWORTH, 2015; ZAMBROSI; MATTOS; SYVERTSEN, 2011; ZAMBROSI et al., 2012a, b).

Os maiores valores em altura, diâmetro do coleto, matéria seca aérea e radicular observados nas plantas de *C. trichotoma* cultivadas no solo com a aplicação próximas a 240 kg de P_2O_5 ha⁻¹ pode ser atribuído ao aumento do acúmulo de carbono à medida que aumenta a disponibilidade de P no solo (Figura 7), assim como observado por Valadares et al. (2015) em mudas de *Astronium fraxinifolium* Schott, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville e *Acacia mangium* Willd. com aplicação de P.

Em relação à área foliar, os menores valores observados nos tratamentos sem adubação fosfatada estão relacionados ao fato da deficiência de P interferir no metabolismo energético das plantas e diminuir a divisão celular, a expansão foliar e o número de folhas (MARSCHNER, 2012).

O uso de 236 kg de P_2O_5 ha⁻¹ (Figura 2 c), contribuiu para os maiores valores de área foliar tornando as plantas capazes de interceptar maior quantidade de energia luminosa, convertendo-a em energia química (FAVARIN et al., 2002). Além disso, as maiores taxas fotossintéticas mais elevadas, quando as plantas estão adequadamente fertilizadas com P, promovem maior crescimento das raízes, o que reflete no aumento da absorção de água, nutrientes e conseqüentemente no crescimento nas plantas (HAWKESFORD et al., 2012; ZAMBROSI; MATTOS; SYVERTSEN, 2011).

Os valores superiores de matéria seca aérea encontrados nas mudas adubadas com 236,7 kg de P_2O_5 ha⁻¹ em relação as que não receberam adubação, indicam que o fornecimento decorrente da adição de fertilizantes fosfatado em solos empobrecidos auxilia a produção de biomassa (NIELSEN et al., 2015). Crous et al. (2015), estudando o efeito da fertilização de P em *Eucalyptus tereticornis* relataram a mesma tendência, sugerindo uma mudança na acúmulo de carbono em resposta a disponibilidade de P. A maior biomassa em plantas fertilizadas com P se deve ao fato do mesmo constituir os principais grupos de ácidos nucleicos, fosfolipídios e proteínas fosforiladas (VENEKLAAS et al., 2012), o que está diretamente relacionado aos processos metabólicos associados à fotossíntese (HAMMOND; WHITE, 2008).

O aumento de forma quadrática crescente dos valores de altura, diâmetro e matéria seca com o incremento das doses de P (Figura 2) também foi observados por Rocha et al. (2013) e Stahl et al. (2013) em mudas de eucalipto. Esse comportamento pode estar associado ao fato das plantas em condições de adequada disponibilidade de P apresentarem maior

desenvolvimento de órgãos fotossinteticamente ativos (HAMMOND et al., 2004; LYNCH; BROWN, 2001), e o menor crescimento, provavelmente, se deve à toxicidade ou a deficiência induzida de outros nutrientes essenciais às plantas (WHITE, 2012) ou ao consumo de luxo (LARCHER, 2000).

3.4.2 Pigmentos fotossintéticos

Para *C. trichotoma*, o aumento dos teores dos pigmentos fotossintéticos (Figura 3), nas mudas cultivadas com adubação fosfatada, proporciona maior aproveitamento da energia luminosa, favorecendo o aumento de atividade fotossintética, resultando em maior taxa de crescimento e acúmulo de matéria seca (Figura 2). As clorofilas *a* e *b* e carotenoides são responsáveis pela absorção e captura de luz em distintas regiões do espectro, nas etapas iniciais da fotossíntese (BOWYER; LEEGOOD, 1997) e a fase fotoquímica só ocorrer se houver pigmentos capazes de interagir com mais amplo espectro de radiação fotossintética (PRADO; CASALI, 2006).

Os maiores teores de clorofila *a* e *b* nas mudas com a DMET média de 208,3 e 200,0 kg de P₂O₅ ha⁻¹, respectivamente, indicam maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos (MARENCO; LOPES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, os menores valores desses pigmentos nas mudas que não receberam adubação fosfatada (Figura 3), associam-se as plantas com menor rendimento quântico da fase fotoquímica da fotossíntese (Figura 4 b) e menor crescimento em altura, diâmetro, área foliar, e produção de matéria seca aérea e radicular (Figura 2). Dessa forma, alterações nos teores dos pigmentos fotossintéticos pode ser indicativo de menor produção de energia ou conforme Hendry; Price, (1993), de danos no aparelho fotossintético devido ao estresse como a deficiência ou toxicidade de nutrientes.

Para as mudas *C. trichotoma* a baixa disponibilidade de P no solo foi limitante para a síntese dos pigmentos fotossintéticos. Outros estudos também demonstram que mudanças no conteúdo de pigmentos fotossintéticos são induzidas pelo baixo nível de P, sendo a redução da síntese desses pigmentos, frequentemente, observada em plantas cultivadas em solos com deficiência desse nutriente (JIANG; TANG; ZHENG, 2009; PLESNICAR et al., 1994; RAO; TERRY, 1989).

3.4.3 Fluorescência da clorofila *a*

O menor valor médio da fluorescência inicial da clorofila *a* (F_0), obtido na dose de 240,5 kg de P_2O_5 ha^{-1} , demonstra melhores condições fotossintéticas das mudas em relação aos demais tratamentos, uma vez que quanto menor o valor de F_0 , menor é a perda de energia (PRADO; CASALI, 2006). Este resultado indica que a maior quantidade de energia está sendo direcionada à etapa fotoquímica da fotossíntese, do que sendo perdida por fluorescência.

De modo geral, pode-se enfatizar que o uso de 240,5 kg de P_2O_5 ha^{-1} em plantios de *C. trichotoma* representa menores danos ao PSII das plantas, uma vez que o aumento de F_0 serve como indicativo que houve dano ao centro de reação do PSII (ZLATEV; YORDANOV, 2004), ou uma redução na transferência da energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação (OUZOUNIDOU, 1993). A menor perda de energia (Figura 4 a) reflete plantas com maior crescimento (Figura 2), pois quando há aumento da dissipação de energia na forma de fluorescência, ocorre redução na formação de ATP e NADPH e na assimilação de carbono (KRAUSE; WEIS, 1991).

Nesse trabalho, as maiores perdas de energia fotoquímica (Figura 4) nas mudas cultivadas com baixo P, possivelmente estejam associadas com a redução do teor de clorofila nas folhas das plantas, ocasionada pela baixa disponibilidade de P nos solos sem adubação. Além disso, nessas condições, ocorre também o menor F_v/F_m , o qual demonstra o efeito de fotoinibição, ocasionando condição de estresse fotoquímico. Com a redução de F_v/F_m , uma menor quantidade de energia absorvida pela planta através do complexo antena é utilizada para reduzir o carbono e produzir matéria seca, o que ajuda a explicar a baixa produção de matéria seca nesses tratamentos (TIECHER et al., 2016). Com isso, percebe-se que a deficiência de P compromete a produção de energia e o processo fotossintético (SINGH et al., 2013) e, conseqüentemente, o crescimento das mudas.

As respostas positivas da adubação fosfatada no plantio de mudas de *C. trichotoma* podem ser evidenciadas na análise do F_v/F_m . Conforme Araújo e Deminicis, (2009) plantas saudáveis devem apresentar relação F_v/F_m entre 0,75 e 0,85. No entanto, percebe-se que para esta espécie arbórea tropical, os valores próximos de 0,66 (Figura 4b) podem ser considerados bons preditores de crescimento, pois nessas condições as mudas apresentaram maior crescimento e produção de matéria seca. Resultados semelhantes foram observados por Turchetto et al. (2016) estudando o desempenho de diferentes espécies típicas de sub-bosque

em viveiro, os quais concluíram que valores acima de 0,55 podem ser considerados adequados indicadores de sobrevivência e crescimento inicial das plantas.

Para a espécie *C. trichotoma*, a mensuração da emissão de fluorescência da clorofila *a*, foi uma técnica eficiente, capaz de quantificar a tolerância das plantas ao estresse ocasionado pela baixa disponibilidade de P. Tal diagnóstico pode ser realizado de forma rápida e precisa (LI et al., 2006). Dessa forma, antes do aparecimento de qualquer dano morfológico, o aparelho fotossintético, em especial no PSII pode ser afetado (FORCE; CRITCHLEY; VAN RENSEN, 2003; PANDA; SHARMA; SARKAR, 2008), e essas alterações detectadas por essa análise (YUSUF et al., 2010) permitem uma estimativa da capacidade fotossintética das plantas. Assim, infere-se que a fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada em outras espécies arbóreas tropicas por ser um método rápido e não destrutivo.

3.4.4 Enzima fosfatase ácida

Para as plantas de *C. trichotoma* o decréscimo da atividade da enzima fosfatase ácida (APases) (Figura 5) está associado a maior disponibilidade de P no solo (Figura 7). Conforme Hinsinger et al. (2011) e Plassard e Dell (2010), as espécies florestais, quando expostas à situação de baixa disponibilidade de P, normalmente aumentam a produção e exsudação de fosfatases.

De modo geral, a maior atividade das enzimas nas folhas das plantas de *C. trichotoma* cultivadas sem o uso de P, está relacionada aos menores teores dos pigmentos fotossintéticos (Figura 4), menor aproveitamento de energia fotoquímica (Figura 5), menor crescimento e alocação de biomassa (Figura 2).

Quando há baixa disponibilidade de P no solo, as plantas aumentam uma variedade de fosfatases ácidas como estratégia para captação e realocação deste nutriente (NOVAIS; SMYTH, 1999; YAN et al., 2001). Dessa forma, a ativação de fosfatase também pode ser entendida como um mecanismo desenvolvido pelas plantas para aumentar a absorção de P disponível no solo em ambientes com teores limitantes do nutriente (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Altas doses de P, ocasionam redução da atividade da enzima fosfatase (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Esse comportamento da enzima sob diferentes concentrações de P no solo indica que a atividade da enzima fosfatase é estabelecida pela demanda de P pela planta (YAN et al., 2001) e da disponibilidade do elemento no solo. Em razão disto, a determinação da atividade das APases pode ser utilizada para monitorar a nutrição e a necessidade de

adubação fosfatada em culturas (ROSSI; MONTEIRO, 1999), incluindo de plantas de *C. trichotoma*.

3.4.5 Teor de P nos tecidos vegetais

Os maiores teores de P observados nas folhas, galhos, caule e raízes das mudas de *C. trichotoma* cultivadas no solo com a aplicação 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} podem ser atribuídos ao fato das maiores taxas de absorção de P com o aumento da disponibilidade no solo (Figura 7). As folhas apresentaram maiores teores de P, como observado por Bazani (2014) em plantas de eucalipto, em que aproximadamente 60% do P acumulado na planta foi alocado nas folhas.

Para a espécie *C. trichotoma* após 24 meses de plantio, folhas recém-maduras e sadias podem ser utilizadas para a diagnose nutricional, sendo os teores de P entre 1,60 e 2,09 g kg^{-1} de matéria seca, considerados como adequados. Esses valores são superiores a faixa ideal do teor de P na folha para eucalipto, que varia entre 1,0 e 1,3 g kg^{-1} (BAZANI, 2014; CQFS-RS/SC, 2016; MELO, 2014). Bazani (2014) comenta que estes teores foliares normalmente diminuem após o fechamento das copas das árvores, indicando que essa avaliação seja realizada antes deste período.

Essa maior concentração de P nas folhas (Figura 6d) em relação aos valores encontrados para o gênero *Eucalyptus* pode estar associado ao fato da *C. trichotoma* ser uma espécie nativa, não melhorada, com crescimento menor. O eucalipto apresenta baixo teor de nutrientes nos tecidos, porém é eficiente no aproveitamento (BAZANI, 2014; MELO, 2014), apresentando maior produção de biomassa que a *C. trichotoma*.

O presente estudo demonstrou que mudas de *C. trichotoma* em condições de alta disponibilidade de P, com uso de 360 kg de P_2O_5 ha^{-1} , apresentaram os maiores teores de P em todos os órgãos analisados (Figura 6). No entanto, esse maior acúmulo não é convertido em crescimento e produção de matéria seca (Figura 2), caracterizando “consumo de luxo” pelas plantas. Em condições de maior disponibilidade de P no solo, as plantas apresentam maior conteúdo de fósforo inorgânico e grande parte deste é acumulado nos vacúolos celulares, servindo como reserva (CLOSE; BEADLE, 2004; NETO, 2014). Conforme Larcher (2000) após a necessidade da planta ser atendida, uma fertilização excessiva não resultará em resposta no crescimento, caracterizando-se como “consumo de luxo”.

A quantidade de P absorvida continuou aumentando e acumulando até a última dose aplicada, evidenciando que as plantas tinham aptidão para absorver P do solo até maiores concentrações, porém sem capacidade de converter em biomassa.

3.4.6 Teor de P disponível no solo

Com base nos resultados do teor de P no solo (Figura 2), constatou-se o aumento da sua disponibilidade com o acréscimo das doses aplicadas no solo, assim como observado por Carmo et al. (2014), ao analisar o crescimento de mudas de cafeeiro submetidas a doses de fósforo. Isso ocorreu, possivelmente, devido ao aumento do coeficiente de difusão do P, em virtude da saturação da superfície de adsorção, o que resultou no aumento da concentração de P na solução do solo (COSTA et al., 2006).

A maior concentração de P verificada na camada superior pode estar associada ao fato dessa superfície apresentar maior teor de matéria orgânica e atividade de microrganismos o que favorece a reatividade do P (LYNCH; BROWN, 2001). No local em que ocorre a aplicação fosfatada, grande parte do P torna-se rapidamente indisponível, imobilizado, adsorvido e ou transformado em uma forma orgânica pela rápida conversão de bactérias do solo em formas orgânicas de P que não podem ser absorvidos pelas plantas (ALMEIDA, 2002; ARREDONDO; ESTRELLA, 2012). Assim, a formação de compostos de baixa solubilidade garante que em maiores profundidades os teores de P sejam menores (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Conforme se intensifica as doses de P aumenta o acúmulo desse elemento no solo. Entretanto os teores entre as profundidades mantem-se equidistantes independente da quantidade adicionada, corroborando que o fator mobilidade/disponibilidade exerce influência nesse elemento, tornando-o menos presente em maiores profundidades.

3.5 CONCLUSÕES

Para a espécie *C. trichotoma* sob de elevada intensidade pluviométrica, na fase inicial pós plantio, o uso de polímeros retentores de água não influencia a sobrevivência, os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das mudas.

As plantas dessa espécie respondem à adubação fosfatada, sendo cerca de 220 kg de P_2O_5 ha^{-1} recomendada para as mudas obterem maior crescimento em altura e diâmetro do coleto e produção de matéria seca aérea e radicular. Essa dose também é indicada para maior aproveitamento da energia luminosa pelo PSII e um menor índice de perda de energia por fluorescência.

Para a *C. trichotoma*, valores próximos a 0,66 para o F_v/F_m podem ser considerados adequados. A mensuração da emissão de fluorescência da clorofila *a* e da atividade da enzima fosfatase podem serem utilizadas para identificar alterações no metabolismo das plantas causadas pela baixa disponibilidade de P e monitorar a necessidade de adubação fosfatada nas mudas.

4 CAPÍTULO II –ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA ASSOCIADA AO USO DE POLÍMERO HIDRORETENTOR SOBRE O CRESCIMENTO DE *Cordia trichotoma*

RESUMO

A fertilidade do solo é um dos fatores mais importantes para o estabelecimento, crescimento e acúmulo de biomassa das mudas de espécies arbóreas tropicais nativas. No entanto, para a maioria dessas espécies, inclusive aquelas com potencial comercial, como a *Cordia trichotoma*, pesquisas relacionadas à fertilização para o adequado crescimento em plantios, são escassas. No presente estudo, objetivou-se verificar a influência de fertilizantes minerais e orgânicos nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos em plantio de *C. trichotoma* na presença e ausência de polímeros hidroretentores. Para isso, no campo foi testado em esquema fatorial (2 x 4) à presença de polímero hidroretentor (5 g L⁻¹ de água muda⁻¹) e sua ausência, associada à adubação com dejetos bovino, dejetos de aves, fertilizante mineral e sem adubação. Dois anos após o plantio foram avaliados a sobrevivência e atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. Tanto o polímero como os tipos de adubações não influenciaram a sobrevivência. Mudanças de *C. trichotoma* respondem positivamente a adubação, podendo ser cultivadas com fontes orgânicas. O uso do dejetos bovino aumentou o teor de matéria orgânica no solo e a disponibilidade de fósforo, potássio cálcio e magnésio. Além disso, promoveu o maior crescimento em altura, diâmetro do coleto, matéria seca aérea, assim como maior taxa de transporte de elétrons ($ETR_m = 203,83 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e aproveitamento da energia luminosa pelo PSII ($F_v/F_m = 0,65$). Recomenda-se, para essa espécie arbórea tropical, a aplicação de dejetos bovino para um maior crescimento e uma adequada atividade fotossintética em plantios a campo.

Palavras-chave: Louro-pardo. Dejetos bovino. Dejetos de aves. Fertilização de mudas. Fluorescência.

MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION ASSOCIATED WITH THE USE OF WATER-RETAINING POLYMER ON THE GROWTH OF *Cordia trichotoma*

RESUMO

Soil fertility is one of the most important factors for the establishment, growth and biomass accumulation of seedlings of native tropical tree species. However, for most of these species, including those with commercial potential, such as *Cordia trichotoma*, research related to fertilization for adequate growth in plantations, are scarce. In the present study, the objective was to verify the influence of mineral and organic fertilizers on the morphological, physiological and biochemical attributes of *C. trichotoma* planting in the presence and absence of water-retaining polymers. Therefore, was tested in the field in a factorial scheme (2 x 4) with the presence of water-retaining polymers (5 g L⁻¹ of water seedling⁻¹) and its absence, associated to fertilization with bovine manure, poultry manure, mineral fertilizer and without fertilization. Two years after planting, survival, morphological, physiological and biochemical attributes were evaluated. Both the polymer and the types of fertilization did not influence survival. *C. trichotoma* seedlings respond positively to fertilization, and can be grown with organic sources. The use of bovine manure increased the organic matter content in the soil and the availability of phosphorus, potassium calcium and magnesium. In addition, it promoted the greatest growth in height, stem diameter, aerial dry matter, as well as higher electron transport rate (ETR_m= 203.83 μmol m⁻² s⁻¹) and PSII (F_v/F_m= 0.65). It is recommended for this tropical tree species the application of bovine manure for greater growth and an adequate photosynthetic activity in field plantings.

Keywords: Louro-pardo. Bovine manure Poultry manure. Fertilization of seedlings. Fluorescence.

4.1 INTRODUÇÃO

A espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. (louro-pardo) é amplamente distribuída em florestas tropicais e subtropicais do Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai e Bolívia, sendo reconhecida pela qualidade de sua madeira de fácil trabalhabilidade e com alto valor comercial agregado. Além disso, essa espécie pode ser utilizada em programas de reflorestamento destinados ao restabelecimento de áreas alteradas (CARVALHO, 2003) e fins comerciais (SCHEEREN et al., 2002). Apesar da potencialidade da *C. trichotoma*, assim como de muitas outras espécies arbóreas tropicais, pesquisas relacionadas ao desempenho morfológico, fisiológico e bioquímico são incipientes, principalmente no que diz respeito à fertilização para o seu adequado crescimento em plantios.

A fertilidade do solo é um dos fatores mais limitantes do estabelecimento, crescimento e acúmulo de biomassa nas mudas de espécies arbóreas. Porém, conforme Gonçalves et al. (2008a), os plantios florestais geralmente são implantados em solos com baixa fertilidade natural. Dessa forma, quando o solo não possui condições de suprir as necessidades nutricionais para o adequado crescimento das plantas, a correção dessas deficiências pode ser realizada por meio da utilização de fertilizantes minerais e/ou orgânicos (BISSANI et al., 2008).

No Brasil, os fertilizantes minerais compostos principalmente por nitrogênio (N), fósforo (P) e o potássio (K) são os mais utilizados, pela sua disponibilidade e praticidade de aplicação (CQFS-RS/SC, 2016; RAIJ, 2011). No entanto, outra forma de promover melhorias nos atributos químicos do solo é a aplicação de materiais orgânicos (GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013). As principais fontes orgânicas são os dejetos de animais (aves, bovinos e suínos), resíduos de culturas e adubos verdes (CQFS-RS/SC, 2016). Conforme Souza et al. (2006), o uso da adubação orgânica em plantios de espécies florestais é plenamente viável, podendo ser limitada apenas pela quantidade demandada quando em larga escala.

Outro fator que restringe o sucesso na formação de florestas plantadas são as altas taxas de mortalidade, principalmente, logo após o plantio. Assim, alternativas como o uso de polímeros hidrotentores têm sido utilizadas com o objetivo de manter o sistema radicular das mudas hidratado após o plantio (FELIPPE et al., 2016; TEO; CORREA; DENARDIN, 2014). Os polímeros armazenam nos períodos de maior disponibilidade hídrica, e,

posteriormente, liberam às plantas quando há deficiência hídrica (LECIEJEWSKI, 2009). Em razão do aumento da umidade na rizosfera, em alguns casos, o fluxo de nutrientes à interface solo-raiz pode ser facilitado devido ao melhor movimento de íons em direção às raízes.

No monitoramento do crescimento das mudas após o plantio, normalmente são utilizados atributos de fácil obtenção (TSAKALDIMI; GANATSAS; JACOBS, 2013) como altura, diâmetro do coleto, entre outros (RITCHIE et al., 2010). Apesar desses atributos morfológicos serem tipicamente considerados os melhores indicadores da performance da planta após o plantio, conforme Cooke e Suski, (2008) e Campoe et al. (2014), os mesmos são incompletos, uma vez que não transparecem com exatidão as alterações no metabolismo das plantas causados por algum estresse. Nesse sentido, a avaliação dos atributos fisiológicos torna-se fundamental para diagnosticar situações contrastantes no comportamento dessas espécies.

Dessa forma, este estudo foi realizado com o objetivo de verificar a influência de fertilizantes minerais e orgânicos nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos em plantio de *C. trichotoma* na presença e ausência de polímeros retentores. Respondendo as seguintes questões: a) A utilização do polímero hidroretentor em plantios de *C. trichotoma* influencia a sobrevivência, os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das mudas? b) a adubação com fontes orgânicas promove adequada atividade fotossintética, crescimento e acúmulo de matéria seca.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área experimental

O estudo foi realizado de setembro de 2013 a setembro de 2015 em Santa Maria, região Sul do Brasil (29° 47' 37" S, 53° 40' 08" O). O clima da região, é do tipo fundamental Cfa, subtropical úmido, caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18 °C, e do mês mais quente superior a 22 °C, com precipitação média anual de 1.769 mm, bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013), sendo os atributos físicos e químicos descritos na Tabela 2. O local caracteriza-se como área com terreno suavemente ondulado.

Tabela 2- Atributos físicos e químicos do solo na camada 0-20 metros da área experimental. Valores representam a média de três repetições

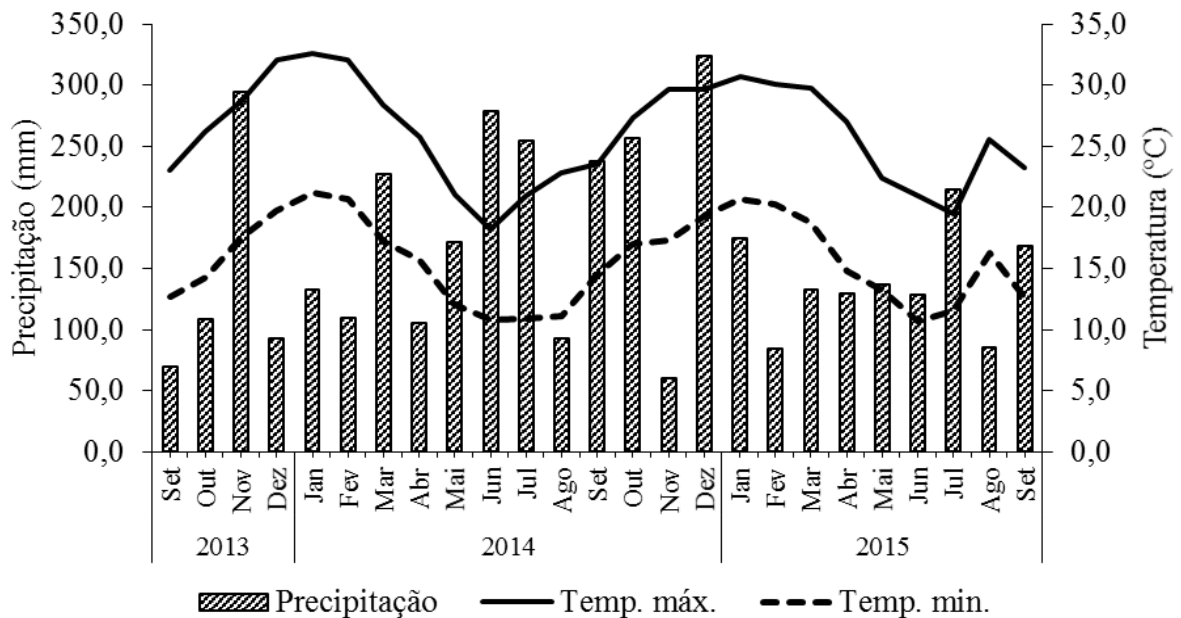
Atributos	Valores
Argila ⁽¹⁾ (%)	12,0
Silte ⁽¹⁾ (%)	13,0
Areia ⁽²⁾ (%)	75,0
Matéria orgânica ⁽³⁾ (%)	1,1
Saturação por bases (%)	34,9
pH em H ₂ O ⁽³⁾ (1:1)	5,3
P disponível ⁽⁴⁾ (mg dm ⁻³)	6,0
K trocável ⁽⁴⁾ (mg dm ⁻³)	64,0
Ca trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm ⁻³)	2,4
Mg trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm ⁻³)	0,6
Al trocável ⁽⁵⁾ (cmolc dm ⁻³)	0,2
Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)	5,7
Índice SMP ⁽²⁾	6,5

¹Método da pipeta (Embrapa, 1997); ²Peneira; ³Determinado segundo Tedesco et al. (1995); ⁴Extraído por Mehlich⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁵Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995).

Fonte: O Autor (2017).

Durante a condução do experimento a precipitação e temperatura média mensal foram de 162,8 mm e 20 °C, respectivamente (Figura 8). Os atributos meteorológicos, correspondentes ao período foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidas na Estação Meteorológica localizada na UFSM, Santa Maria, RS.

Figura 8- Precipitação (mm), temperatura máxima (Temp. máx.) e temperatura mínima (Temp. min.) do período de condução do experimento, registrados no Município de Santa Maria, RS



Fonte: BDMET/INMET (2016).

4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado em esquema fatorial (2 x 4), em que os níveis do fator “A” representam a presença de polímero hidroretentor (5 g L^{-1} de água muda⁻¹) e sua ausência (0 g L^{-1} de água muda⁻¹), e os níveis do fator “B” a adubação com dejetos bovinos, dejetos de aves, fertilizante mineral e sem adubação. O experimento foi implantado em quatro blocos. No entanto, houve mortalidade de 73 % das mudas de um bloco devido à intolerância da espécie a solos alagados. Dessa forma, foram utilizados três blocos, cada um constituído por parcelas aleatorizadas com 16 plantas, sendo avaliadas as quatro centrais.

O polímero hidroretentor (hidrogel) é um produto misto de copolímero de acrilamida ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$) e acrilato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), que tem como objetivo reter e deixar água disponível ao sistema radicular das plantas. O polímero utilizado apresentava as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas 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, que pode disponibilizar até 95 % da solução armazenada para a planta (5 % retidos a alta tensão). A dose utilizada de 5 g L^{-1} de água muda⁻¹ de polímero correspondeu à recomendada pelo fabricante. O polímero

foi hidratado uma hora antes de sua aplicação, a qual ocorreu na cova instantes antes do plantio.

Para a adubação orgânica com dejetos bovinos (Tabela 3), foi adicionado 10 litros por planta (NAVE et al., 2009), o qual foi incorporado ao solo. Esse dejetos foi coletado no setor de bovinocultura de leite da UFSM. O dejetos de aves (Tabela 3) foi composto por cama de frango (quatro lotes), sendo esse coletado em aviários do setor de avicultura da UFSM. Antes do plantio, três litros do dejetos curtido foram incorporados ao solo na cova de plantio (NAVE et al., 2009). Ambos os dejetos foram curtidos até estabilização biológica e secos ao ar.

A adubação mineral seguiu a recomendação para cultura do eucalipto, conforme a CQFS-RS/SC (2004), uma vez que não há prescrição para *C. trichotoma*. Adicionou-se 50 kg ha⁻¹ de N, 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 45 kg ha⁻¹ de K₂O em covetas distantes, aproximadamente, 15 cm das mudas. As fontes utilizadas foram ureia (45% de N), superfosfato triplo (46% de P) e cloreto de potássio (60% de K), respectivamente.

Tabela 3- Atributos químicos dos dejetos bovinos e de aves utilizados na adubação das mudas de *Cordia trichotoma*

Atributos	Dejetos bovinos	Dejetos de aves
Nitrogênio %	1,03*	1,38
Fósforo %	0,38	2,24
Potássio %	1,01	0,28
Cálcio %	0,72	6,50
Magnésio %	0,30	0,56
pH em H ₂ O %	9,3	7,2
Carbono orgânico %	17,73	17,59

*Método de análises conforme Tedesco et al. (1995).
Fonte: O Autor (2017).

4.2.3 Preparo da área e plantio das mudas

A partir da análise do solo (Tabela 2), 30 dias antes do plantio, efetuou-se a correção da acidez de acordo com índice SMP, para elevar o pH até atingir o valor de 5,5. A calagem foi realizada a lanço e sem incorporação, utilizando calcário dolomítico [CaMg (CO₃)²] com poder relativo de neutralização de 76%. Além disso, aplicou-se herbicida sistêmico não

seletivo na dosagem de 3,5 L ha⁻¹, cinco dias antes do plantio com auxílio de pulverizador costal, para controle de plantas indesejáveis.

As mudas utilizadas no plantio foram produzidas em tubetes de polipropileno (280 cm³), preenchidos com substrato composto por terra de subsolo, substrato comercial (base de turfa de *Sphagnum* e vermiculita) e casca de arroz carbonizada na proporção de 2:1:1 (v.v.v). Na adubação de base foram utilizadas 9 g L⁻¹ de fertilizante de liberação controlada, Osmocote® (NPK 15-09-12). As mudas apresentavam em média 35,0 cm de altura e 4,5 mm de diâmetro de coleto.

Para o plantio foram abertas covas de forma semi-mecanizada com auxílio de motocoveador de broca perfuratriz, na dimensão de 30 cm (profundidade) x 25 cm (diâmetro), em espaçamento de 3 m x 2 m. Após o plantio realizou-se irrigação com um litro de água por muda, para proteger o sistema radicular contra a desidratação. Além disso, sempre que necessário foi realizado controle das formigas-cortadeiras com iscas granuladas (à base de Fipronil e Sulfluramida) e das plantas indesejáveis com capina manual (coroamento), roçada ou capina química utilizando herbicida sistêmico não seletivo (à base de Glifosato).

4.2.4. Avaliações da sobrevivência e dos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos

Avaliaram aos dois anos após o plantio (a.a.p.) a taxa de sobrevivência, a altura (H) com régua milimetrada e o diâmetro do coleto (DC) com paquímetro digital. Posteriormente, a parte aérea da planta foi cortada rente à superfície do solo. Em seguida o material foi acondicionado em sacos de papel Kraft e transportado ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. No laboratório, o material foi posto para secar em estufa com circulação de ar forçado a 70 °C até peso constante, para determinação da matéria seca aérea (MSA) em balança analítica (0,001g).

A área foliar (AF), primeiramente, foi determinada para 30 folhas (AF30F) coletadas aleatoriamente da copa de três plantas por tratamento. Logo após, as folhas foram distribuídas sobre papel branco A4 com escala milimétrica, prensadas por vidro transparente e fotografadas com câmera digital utilizando zoom de 1,4 (SONY Cyber-shot, 8.1 megapixels). As imagens foram tratadas (ajuste de contraste e brilho) e processadas para determinação da AF, com auxílio do *software* Image J. Essas folhas foram secas em estufa com ar forçado até peso constante, para a determinação da matéria seca (MS30F). Posteriormente, conforme Coelho Filho et al. (2012), foi estimada a AF total da planta utilizando a seguinte fórmula:

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

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

Para determinar a matéria seca radicular (MSR), utilizou-se três plantas de cada tratamento, selecionadas de forma aleatória. Primeiramente, realizou-se a extração das raízes do solo por meio de escavação com auxílio de pá de corte, no entorno de cada planta até atingir a profundidade e área onde essas eram observadas. Em seguida procedeu-se a separação das raízes com peneira e lavagem com água corrente. Assim como para a MSA, o material foi transportado ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM e seco em estufa com ar forçado a 70 °C até obtenção de peso constante, sendo determinada a MSR com auxílio de balança analítica (0,01g).

Para as análises fisiológicas das mudas, foi mensurada a fluorescência da clorofila *a*, aos dois a.a.p., em três plantas por tratamento, usando fluorômetro portátil de luz modulada Junior-Pam (Walz, Germany), no período compreendido entre às 8:00 e 11:00 horas em dias de pleno sol, usando a primeira folha totalmente expandida do terço superior da planta (SOUZA et al., 2013). Previamente a folha foi adaptada ao escuro por 30 minutos, posteriormente, foram realizadas as leituras de fluorescência inicial (F_0) rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m) e taxa de transporte de elétrons (ETR_m). O F_v/F_m foi obtido por meio da razão da fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$) e a fluorescência máxima (F_m).

Além disso, aos dois a.a.p. foram determinados os atributos bioquímicos, como pigmentos fotossintéticos, atividade da enzima fosfatase ácida e os teores de nutrientes nos tecidos vegetais, por meio da coleta de folhas em quatro plantas por tratamento. Também, para as análises dos pigmentos fotossintéticos das mudas, folhas sadias e totalmente expandidas foram coletadas, congeladas em N₂ líquido e encaminhadas ao Laboratório de Biotecnologia Vegetal, do Departamento de Biologia, UFSM onde foram mantidas em ultrafreezer (-80 °C) até o momento da determinação. Posteriormente, foram verificados os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e carotenoides, conforme metodologia de Hiscox e Israelsstam (1979), onde 0,05 g de amostra fresca de folhas foram incubadas a 65 °C com dimetilsulfóxido (DMSO) por duas horas. As concentrações de pigmentos foram calculadas depois da leitura das absorbâncias em espectrofotômetro modelo Celm E-205D

(Bel Engineering, Itália), a 663, 645 e 480 nm para Chl *a*, Chl *b* e carotenoides respectivamente, de acordo com a metodologia de Lichtenthaler (1987).

Para a atividade da enzima fosfatase ácida, as amostras de folhas, assim como para as utilizadas na análise dos pigmentos fotossintéticos, foram maceradas com N₂ líquido e homogeneizadas em tampão Tris/HCl (0,1 M), EDTA (0,001 M) e albumina (0,1 g) (pH 7,4). Em seguida, as amostras foram filtradas e centrifugadas a 20.000 x g por 30 min e o sobrenadante resultante utilizado para determinação, da fosfatase ácida conforme metodologia de Tabaldi et al. (2007).

O fosfato inorgânico (Pi) foi medido a 630 nm usando verde malaquita como reagente colorimétrico e KH₂PO₄ como padrão para a curva de calibração, utilizando o espectrofotômetro (Celm E-205D) para leitura das amostras (nmol Pi liberado min⁻¹ mg⁻¹ proteína). A proteína foi determinada pelo método de Bradford (1976), usando albumina sérica bovina como padrão.

De forma semelhante à coleta para as outras análises bioquímicas foram obtidas folhas para determinação do teor de nutrientes no tecido (N, P, K, Ca e Mg), as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM, para secagem em estufa com ar forçado a 70 °C até peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho do tipo Wiley, passadas em peneira com malha de 20 mesh e submetidas à digestão nitroperclórica, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSM.

4.2.5 Análise do teor de nutrientes disponível no solo

Dois anos após o plantio para determinar o teor de nutrientes no solo foram coletadas quatro amostras por tratamento, compostas por sete subamostras. A amostragem do solo foi realizada com tardo calador nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. O solo foi seco ao ar, passado em peneira com malha de 2 mm e submetido a extração de N, P (extrator Mehlich⁻¹), K (extrator Mehlich⁻¹), Ca (extrator KCl) e Mg (extrator KCl). Os nutrientes foram determinados conforme Tedesco et al. (1995), no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSM.

4.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett ($p > 0,05$), respectivamente, por meio do *software* de Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Os dados que não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância foram transformados por Box-Cox. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA), segundo o modelo: $Y_{ijk} = m + b_j + a_i + d_k + ad_{ik} + \delta_{ijk}$, onde: Y_{ijk} - valor observado referente a cada muda avaliada; m - constante; b_j - efeito dos blocos; a_i - efeito fixo do polímero hidroretentor; d_k - efeito fixo do tipo de adubação; ad_{ik} - efeito da interação entre o polímero hidroretentor e os tipos de adubação; e δ_{ijk} - efeito do erro aleatório incidente em cada unidade experimental.

Assim, quando constatada diferença entre os tratamentos, efetuou-se a comparação de médias ($p < 0,05$) pelo teste t de Student para o fator “A” e teste Tukey para o fator “B”. Para a realização dessas análises utilizou-se o pacote estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Sobrevivência e atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos

O uso do polímero hidretentor não influenciou ($p < 0,05$) a sobrevivência e os atributos morfológicos, altura (H), diâmetro do coleto (DC) e matéria seca aérea (MSA) das mudas de *C. trichotoma* (Apêndice 6). Aos dois anos após o plantio (a.a.p), a taxa de sobrevivência das plantas foi de 100 %, independentemente do tipo de adubação utilizada no plantio. De forma geral, a adição de fertilizantes proporcionou respostas distintas de H, DC e MSA, sendo os maiores valores observados com o uso do dejetivo bovino. Por outro lado, os menores valores de H, DC e MAS ocorreram nas mudas cultivadas sem adubação (Tabela 4).

A altura (H) das plantas cultivadas com dejetivo bovino (173,25 cm) foi 60,6 % superior ao observado nas mudas do tratamento testemunha. As plantas fertilizadas com dejetivo de aves e adubação mineral apresentaram crescimento sem diferença estatística, apesar da fonte orgânica proporcionar os maiores valores em H (Tabela 4). A adubação aumentou o diâmetro do coleto, principalmente com fontes orgânicas, influenciou positivamente no crescimento (Tabela 4).

O maior acúmulo de MSA ocorreu nas mudas fertilizadas com fontes orgânicas (Tabela 4). As plantas do tratamento sem adubação apresentaram os menores valores, sendo 5,1 vezes inferior a MSA obtida com o dejetivo bovino (587,17 g).

Para a matéria seca radicular (MSR), houve interação significativa ($p = 0,0004$) entre o polímero e os tipos de adubação. A MSR foi maior com adubação com esterco de aves do que nos outros tratamentos de adubação. De forma geral, o uso do polímero proporcionou maior MSR. Porém, somente com a adubação mineral que a presença do polímero apresentou valores estatisticamente superiores às plantas cultivadas sem o polímero. Além disso, as mudas dos tratamentos sem adubação apresentaram os menores valores de MSR (Tabela 4).

A área foliar (AF) das plantas cultivadas com o polímero foi em média 47,7 % maior em relação aquelas sem o polímero (1,76 m²). O tipo de adubação utilizada também influenciou ($p < 0,05$) a AF, sendo os maiores valores evidenciados nas mudas adubadas com dejetivo bovino. No entanto, não houve diferença entre aquelas fertilizadas com dejetivo bovino, de aves e adubo mineral. As mudas sem adubação apresentam menor AF (Figura 4).

Tabela 4- Efeito de diferentes adubações na altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca aérea (MSA), matéria seca radicular (MSR) e área foliar (AF) de mudas de *Cordia trichotoma* cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidroretentor

Atributos	Adubação	Polímero hidroretentor		Média
		Sem	Com	
H (cm)	Testemunha	108,17	107,58	107,87 c*
	Dejeto bovino	172,50	174,00	173,25 a
	Dejeto de aves	154,17	139,98	147,07 b
	Adubo mineral (NPK)	136,58	132,50	134,54 b
	Média	142,85 ^{ns}	138,51	140,68
DC (mm)	Testemunha	34,32	37,52	35,92 b
	Dejeto bovino	39,39	53,25	46,32 a
	Dejeto de aves	39,86	40,20	40,03 ab
	Adubo mineral (NPK)	39,25	36,33	37,79 ab
	Média	30,20	41,83	36,02
MSA (g)	Testemunha	124,00	103,00	113,50 c
	Dejeto bovino	613,00	561,33	587,17 a
	Dejeto de aves	506,33	539,33	522,83 ab
	Adubo mineral (NPK)	435,33	519,00	477,17 b
	Média	419,67	430,66	425,16
MSR (g)	Testemunha	182,00 Ab	142,33 Ac	162,17
	Dejeto bovino	627,00 Aa	606,00 Ab	616,00
	Dejeto de aves	633,00 Aa	726,33 Aa	679,67
	Adubo mineral (NPK)	320,33 Bb	503,00 Ab	411,66
	Média	440,58	494,42	476,50
AF (m ²)	Testemunha	0,49	0,40	0,45 b
	Dejeto bovino	2,99	3,07	3,03 a
	Dejeto de aves	1,46	3,06	2,26 a
	Adubo mineral (NPK)	2,10	3,88	2,99 a
	Média	1,76 B	2,60 A	2,18

*Médias seguidas da mesma letra na linha (maiúscula) e na coluna (minúscula) não diferem entre si pelo teste *t* e teste de Tukey, respectivamente, 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: O Autor (2017).

As plantas não adubadas apresentaram as menores taxas de transporte de elétrons (ETR_m) e rendimento quântico do PSII (F_v/F_m) e as maiores emissões de fluorescência inicial (F_0), independentemente do uso do polímero (Tabela 5). A utilização do polímero não influenciou esses atributos (Apêndice 7).

Os valores de ETR_m e F_v/F_m aumentaram 71,0 e 32,6 %, respectivamente, quando utilizou-se a suplementação dos nutrientes com dejeto bovino, em relação às plantas não

fertilizadas. Para a F_0 , os fertilizantes orgânicos proporcionaram a menor perda de energia fotoquímica.

Tabela 5- Efeito de diferentes adubações nos atributos taxa de transporte de elétrons (ETR_m), na emissão de fluorescência inicial (F_0) e no rendimento quântico máximo (F_v/F_m) em mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidroretentor

Atributos	Adubação	Polímero hidroretentor		Média
		Sem	Com	
ETR_m ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Testemunha	104,33	134,00	119,17 c*
	Dejeto bovino	205,66	202,00	203,83 a
	Dejeto de aves	176,00	167,00	171,50 b
	Adubo mineral (NPK)	124,00	140,00	132,00 c
	Média	152,50 ^{ns}	160,75	156,62
F_0	Testemunha	111,33	104,66	108,00 b
	Dejeto bovino	94,66	86,00	90,33 a
	Dejeto de aves	96,33	86,00	91,16 a
	Adubo mineral (NPK)	105,33	116,67	111,00 b
	Média	101,92	98,33	100,12
F_v/F_m	Testemunha	0,47	0,51	0,49 b
	Dejeto bovino	0,64	0,66	0,65 a
	Dejeto de aves	0,51	0,59	0,55 ab
	Adubo mineral (NPK)	0,49	0,57	0,53 ab
	Média	0,53	0,58	0,55

* Médias seguidas da mesma letra na linha (maiúscula) e na coluna (minúscula) não diferem entre si pelo teste *t* de Student e teste de Tukey, respectivamente, 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: O Autor (2017).

Os atributos, para os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) e carotenoides e a atividade da enzima fosfatase ácida foram influenciados somente pelo tipo de adubação utilizada no plantio (Apêndice 8). As plantas cultivadas com dejeto bovino apresentaram os maiores teores de pigmentos fotossintéticos e os menores valores ocorreram nas mudas não adubadas. Mudas fertilizadas com os dejetos animais e adubo mineral apresentaram concentrações semelhantes entre si de Chl *a* e carotenoides. Para a Chl *b* as fontes orgânicas proporcionam maior acúmulo desse pigmento (Tabela 6).

A atividade da enzima fosfatase ácida mais alta foi de 526,53 nmol Pi min⁻¹ mg⁻¹ proteína nas plantas cultivadas sem adubação, seguida do tratamento com dejeto bovino. Nas mudas fertilizadas com adubação mineral houve a menor atividade, representando uma redução média de 113,5 % em relação à atividade encontrada na testemunha (Figura 6).

Tabela 6- Efeito de diferentes adubações no teor de clorofila *a*, *b*, carotenoides e atividade da enzima fosfatase ácida em mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob presença e ausência de polímero hidroretentor

Atributos	Adubação	Polímero hidroretentor		Média
		Sem	Com	
Clorofila <i>a</i> (mg g ⁻¹ FW)	Testemunha	0,84	0,80	0,82 b*
	Dejeto bovino	1,00	1,28	1,14 a
	Dejeto de aves	0,88	0,99	0,93 ab
	Adubo mineral (NPK)	0,98	0,90	0,94 ab
	Média	0,93 ^{ns}	0,99	0,96
Clorofila <i>b</i> (mg g ⁻¹ FW)	Testemunha	0,37	0,24	0,30 c
	Dejeto bovino	0,56	0,73	0,65 a
	Dejeto de aves	0,49	0,54	0,51 ab
	Adubo mineral (NPK)	0,59	0,38	0,48 b
	Média	0,50	0,47	0,49
Carotenoides (mg g ⁻¹ FW)	Testemunha	0,36	0,32	0,34 b
	Dejeto bovino	0,39	0,46	0,43 a
	Dejeto de aves	0,36	0,39	0,38 ab
	Adubo mineral (NPK)	0,38	0,36	0,37 ab
	Média	0,38	0,38	0,38
Fosfatase (nmol Pi min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)	Testemunha	489,92	563,13	526,53 a
	Dejeto bovino	467,59	420,25	443,92 b
	Dejeto de aves	330,42	267,97	299,19 c
	Adubo mineral (NPK)	246,63	246,57	246,60 c
	Média	383,64	374,48	379,06

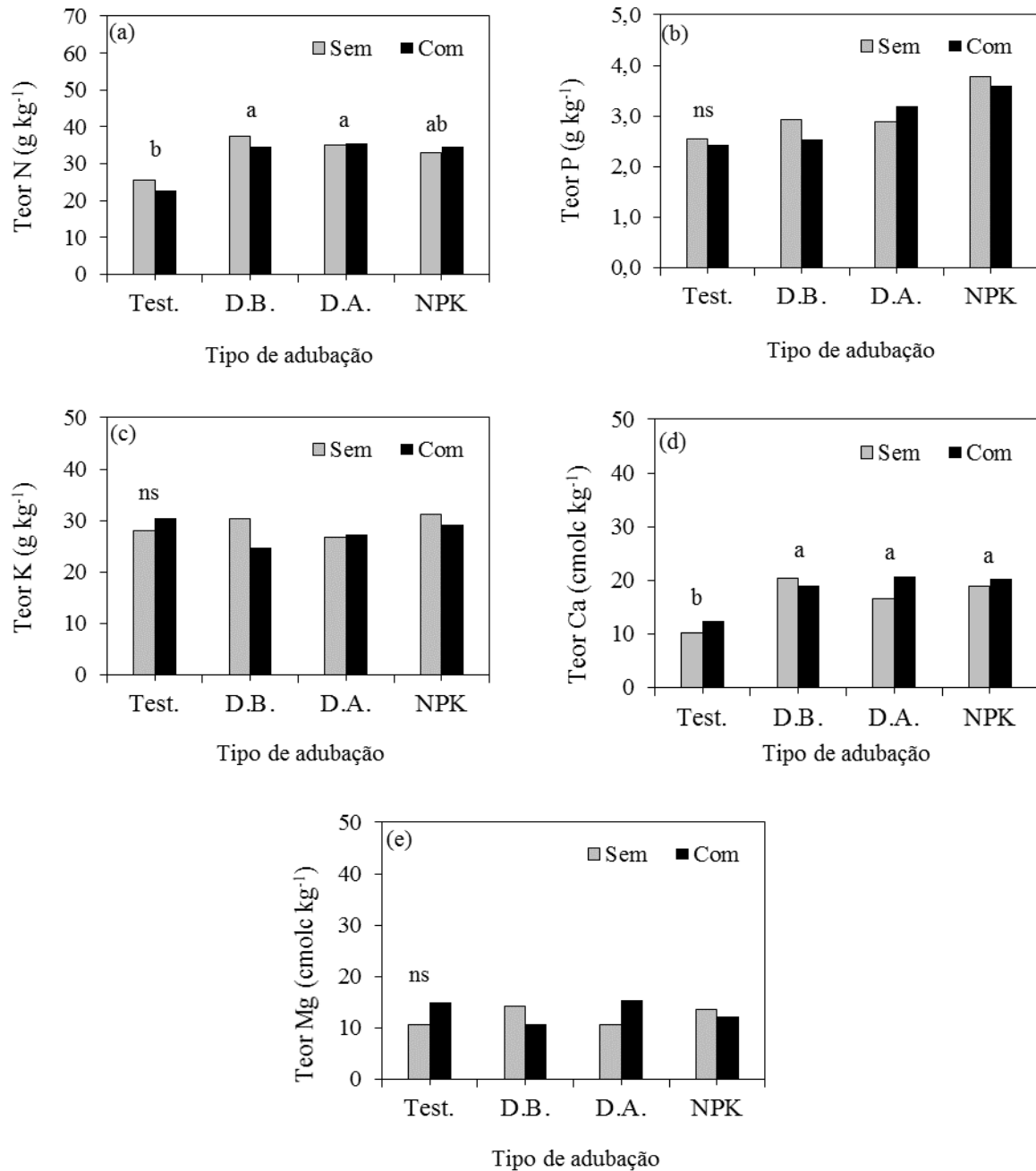
* Médias seguidas da mesma letra na linha (maiúscula) e na coluna (minúscula) não diferem entre si pelo teste *t* de Student e teste de Tukey, respectivamente, 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: O Autor (2017).

A análise do teor de nutrientes nas folhas demonstrou que o polímero hidroretentor não influenciou o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg no tecido (Apêndice 9), enquanto a fertilização no plantio alterou somente a concentração de N e Ca. As mudas adubadas com fontes orgânicas apresentam valores superiores desses elementos, no entanto, são semelhantes estatisticamente aos observados na adubação mineral. Plantas não adubadas obtiveram os menores teores de N e Ca (Figura 9 “a” e “d”).

A adição do dejeto bovino, de aves e do adubo mineral no solo, não aumentou o teor de P, K e Mg nas folhas em relação às mudas cultivadas sem adubação (Figura 8 “b”, “c” e “e”). Por outro lado, para o teor de P, a adubação mineral com NPK, proporcionou os maiores valores, apesar da análise estatística ter indicado que não houve diferença entre os tipos de adubação (Figura 9b).

Figura 9- Teor de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d) e magnésio (e) nas folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sobre diferentes tipos de adubação, na presença e ausência de polímero hidrotentor, dois anos após o plantio



*Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey, 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade; N- nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio; Mg- magnésio; Test.- testemunha; D.B.- dejeito bovino; D.A.- dejeito de aves; NPK- adubo mineral NPK.

Fonte: O Autor (2017).

4.3.2 Teor de nutrientes disponível no solo

Os teores de matéria orgânica (M.O.), P, K, Ca e Mg disponível no solo nas camadas 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, foram influenciados ($p < 0,05$) pelo tipo de adubação adicionada no plantio. Os teores também foram diferentes entre as camadas do solo, não sendo influenciados pelo polímero hidroretentor (Apêndice 10). O teor de M.O. e de nutrientes foi maior na camada 0,0-0,20 m do que na de 0,20-0,40m.

Em relação a M.O. e ao K, os maiores teores de 2,05 % e 153,33 mg kg⁻¹, respectivamente, foram diagnosticados no solo adubado com dejetos bovinos. Além disso, evidenciou-se que as concentrações nos demais tipos de adubação foram semelhantes (Tabela 7).

De forma geral, na camada de 0,0-0,20 m, o teor de M.O. no solo foi em média 121,6 % maior que a camada inferior. Quanto ao K, percebeu-se que há uma maior migração em profundidade, sendo os teores 26,2 % superiores na camada de 0,0-0,20 m.

O teor de P no solo foi superior nas mudas fertilizadas com adubação mineral (81,41 mg kg⁻¹). Os tratamentos que não receberam adubação (testemunha), obtiveram os menores níveis de P disponível no solo, sendo em média 6,6 vezes menor que os teores encontrados na adubação mineral (Tabela 7).

A adubação com dejetos bovinos também proporcionou as maiores concentrações de Ca e Mg no solo. Percebeu-se que os teores para esses nutrientes foram 83,49 e 91,89 % superiores na camada de 0,0-0,20 m quando comparado a de 0,20-0,40 m (Tabela 7). A adubação mineral com NPK não influenciou os teores de Ca e Mg no solo, diferentemente das fontes orgânicas, principalmente do dejetos bovinos.

Tabela 7- Teor de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, dois anos após o plantio de mudas de *C. trichotoma*

Atributos químicos	Adubação	Profundidade		Média
		0,0- 0,20 m	0,20- 0,40 m	
M.O. (%)	Testemunha	1,66	0,85	1,25 b*
	Dejeto bovino	3,04	1,05	2,05 a
	Dejeto de aves	1,75	0,91	1,33 b
	Adubo mineral (NPK)	1,36	0,73	1,05 b
	Média	1,95 A*	0,88 B	1,42
P (mg kg ⁻¹)	Testemunha	16,26	8,47	12,36 c
	Dejeto bovino	65,81	49,60	57,7 ab
	Dejeto de aves	53,05	23,10	38,07 b
	Adubo mineral (NPK)	98,28	64,55	81,41 a
	Média	58,35 A	36,42 B	47,38
K (mg kg ⁻¹)	Testemunha	97,33	68,00	82,66 b
	Dejeto bovino	154,00	158,66	156,33 a
	Dejeto de aves	131,33	79,33	105,33 b
	Adubo mineral (NPK)	105,33	80,66	93,00 b
	Média	122,00 A	96,66 B	109,33
Ca (cmolc kg ⁻¹)	Testemunha	3,93	2,12	3,02 ab
	Dejeto bovino	4,53	2,58	3,56 a
	Dejeto de aves	3,48	1,95	2,71 bc
	Adubo mineral (NPK)	3,18	1,59	2,38 c
	Média	3,78 A	2,06 B	2,92
Mg (cmolc kg ⁻¹)	Testemunha	0,66	0,43	0,54 ab
	Dejeto bovino	1,10	0,47	0,78 a
	Dejeto de aves	0,63	0,36	0,49 b
	Adubo mineral (NPK)	0,44	0,25	0,34 b
	Média	0,71 A	0,37 B	0,54

*Médias seguidas da mesma letra na linha (maiúscula) e na coluna (minúscula) não diferem entre si pelo teste *t* de Student e teste de Tukey, respectivamente, 5% de probabilidade de erro.

Fonte: O Autor (2017).

4.4. DISCUSSÃO

A utilização do polímero hidrorretentor não afetou a sobrevivência das mudas de *C. trichotoma*, provavelmente devido à precipitação média mensal de 162,5 mm observada durante a condução do experimento (Figura 8) ter mantido a hidratação do sistema radicular, contribuindo para o seu adequado crescimento e absorção de água e nutrientes. Os resultados sugerem que para essa espécie arbórea, o uso do polímero não é necessário nos plantios realizados em períodos com maior uniformidade e frequência de chuvas. Resultados semelhantes foram encontrados por Apostol et al. (2009), Barbosa, Rodrigues e Couto (2013) e Vale, Carvalho e Paiva (2006) avaliando sobrevivência, atributos morfológicos e fisiológicos de espécies florestais.

A intensidade pluviométrica de aproximadamente 25% acima da média da última década, dos dois meses após o plantio representam uma evidência possível ao fato do presente trabalho mostrar respostas contrárias a outros estudos, que constataram a influência do polímero sobre os atributos morfológicos e fisiológicos em espécies arbóreas. Entre os estudos, alguns relatam influência positiva na sobrevivência, crescimento e atividade fotossintética (ARBONA et al., 2005; FELIPPE et al., 2016; THOMAS, 2008b).

Na presente pesquisa, os maiores valores de H, DC e MSA observados nas plantas cultivadas com dejetos bovinos podem ser atribuídos ao aumento dos teores de M.O., P, K, Ca e Mg no solo (Tabela 7), tendo em vista que conforme Poggiani et al. (2000), fontes orgânicas disponibilizam nutrientes às plantas de forma gradual, amenizando as perdas por lixiviação. Dessa forma, com o suprimento desses elementos essenciais por maior período, a atividade fotossintética é intensificada, proporcionando maior expansão da AF, crescimento e acúmulo de biomassa.

A maior H e DC das mudas (Tabela 4), aliado a maior taxa de transporte de elétrons e ao menor índice de perda de energia fotoquímica (Tabela 5), quando utilizado o dejetos bovinos, indicam a responsividade da espécie à adubação, pois as plantas não fertilizadas apresentaram limitações tanto no crescimento quanto na eficiência fotossintética. De forma geral, a resposta positiva à adubação, observada para *C. trichotoma*, reflete a sua exigência quanto à fertilidade do solo, conforme descrito por Carvalho (2003).

A maior MSR encontrada nas mudas fertilizadas com os dejetos (Tabela 4) pode estar associada ao fato dessas fontes orgânicas promoverem uma série de benefícios no ambiente edáfico, dentre essas o aumento da troca catiônica, melhorias na aeração e estrutura do solo e

na interação com microrganismos (BUSATO et al., 2009). O maior acúmulo de matéria seca com a adubação mineral associado ao polímero (Tabela 4) possivelmente ocorreu em razão do aumento da umidade na rizosfera, o que pode ter facilitado o fluxo de nutrientes na interface solo-raiz, devido ao melhor movimento de íons em direção às raízes.

A análise dos atributos fisiológicos confirma o comportamento observado para os atributos morfológicos das mudas, utilizando fontes orgânicas (Tabela 4). Os menores valores da F_0 encontrados nas mudas cultivadas com dejetos bovino e de aves (Tabela 5) demonstram as melhores condições das plantas em relação aos demais tratamentos, uma vez que quanto menor o valor de F_0 , maior quantidade de energia está sendo direcionada à etapa fotoquímica da fotossíntese, do que sendo empregada na fluorescência (PRADO; CASALI, 2006).

Plantas não fertilizadas apresentam restrições perceptíveis nos atributos morfológicos (Tabela 4), na absorção e aproveitamento da energia luminosa do fotossistema II (PSII). Com a análise da fluorescência da clorofila *a*, observou-se a maior perda de energia fotoquímica (F_0) no tratamento testemunha (Tabela 5), o que indica dano no centro de reação do PSII, ou redução na transferência de energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação (OUZOUNIDOU, 1993), sugerindo estresse fotossintético nas plantas, possivelmente, ocasionado pela restrição nutricional.

As maiores atividades da enzima fosfatase ácida foram observadas nas mudas com os menores teores de P nas folhas (Figura 9b) e cultivadas nos tratamentos com menor disponibilidade desse elemento no solo (Tabela 7). Considerando que em condições de insuficiência de P no solo, as plantas aumentam a atividade dessas enzimas como estratégia para absorção e realocação desse elemento (NOVAIS; SMYTH, 1999), essas limitações impostas às plantas de *C. trichotoma* cultivadas sem adubação são confirmadas.

O maior rendimento quântico máximo ($F_v/F_m=0,65$) nas plantas cultivadas com dejetos bovino (Tabela 5) evidencia o maior aproveitamento da energia luminosa pelo PSII. Porém, os valores encontrados para mudas de *C. trichotoma* não alcançaram os valores sugeridos por Araújo e Deminiciis (2009) para plantas em condições ambientais ótimas, (entre 0,75 e 0,85). Contudo, estudos realizados no sul do Brasil com mudas de espécies arbóreas nativas, apontam que valores entre 0,55 e 0,70 podem ser considerados bons indicadores de crescimento inicial (KELLING et al., 2017; TURCHETTO et al., 2016; ZAVISTANOVICZ et al., 2017).

O F_v/F_m é um parâmetro capaz de indicar a existência de danos (BAKER, 2008) e a eficiência quântica máxima do PSII (KALAJI; GUO, 2008), demonstrando a capacidade que

esse tem em capturar energia radiante e transferi-la para as reações fotoquímicas, responsáveis pela síntese de NADPH e ATP (ARAÚJO, 2007). Assim, para as mudas de *C. trichotoma*, após a interpretação da relação F_v/F_m , percebe-se que valores próximos de 0,65 podem ser considerados bons preditores de crescimento no campo, pois o maior F_v/F_m obtido nas mudas cultivadas com dejetos bovinos (Tabela 5) corrobora com o maior teor de pigmentos fotossintéticos (Tabela 6), ETR_m (Tabela 5), crescimento e produção de matéria seca (Tabela 4).

Dessa forma, a mensuração da fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada para expressar o estado fisiológico das mudas dessa espécie arbórea em plantios. Esse atributo é capaz de quantificar de forma rápida, não destrutiva e precisa a tolerância das plantas a estresse (LI et al., 2006; RITCHIE et al., 2010), por meio da absorção e do aproveitamento da energia luminosa pelo PSII (NETTO et al., 2005).

Complementarmente, os maiores teores de Chl *a* e Chl *b* (Tabela 6) nas mudas submetidas a adubação com dejetos bovinos, representam maior eficiência fotossintética, uma vez que altas concentrações desses pigmentos transparecem taxas fotossintéticas mais elevadas (MARENCO; LOPES, 2005), pela sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa (REGO; POSSAMAI, 2006). Além disso, os carotenoides presentes nas folhas das plantas apresentam dupla função: como pigmentos acessórios capazes de capturar a energia luminosa e como molécula fotoprotetora, dissipando o excesso de energia de excitação na forma de calor, e assim evitando danos às plantas (MANRIQUE, 2003).

Tais circunstâncias também se consolidaram pelo fato das mudas fertilizadas com dejetos bovinos e de aves apresentarem maior concentração de N nas folhas (Figura 9a). O teor desse elemento no tecido está estreitamente relacionado com a fotossíntese, cerca de 60 % do N total da folha encontra-se nos cloroplastos, principalmente formando parte de enzimas da fotossíntese, como a Rubisco (HIKOSAKA, 2004).

Os teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal ficaram, em todos os tratamentos, acima das faixas consideradas adequadas para o gênero *Eucalyptus* pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS/SC) (CQFS-RS/SC, 2016), o qual é reconhecido pela elevada demanda nutricional, tendo em vista seu expressivo crescimento. Para o N a faixa adequada é de 15,0 a 20,0 g kg⁻¹ e, nesta pesquisa, os maiores teores ocorreram as mudas adubadas com dejetos bovinos (34,7 a 37,3 g kg⁻¹). Para P, a faixa adequada é de 1,0 a 1,3 g kg⁻¹ e neste estudo foram observados valores entre 2,4 e 3,8 g kg⁻¹ (Figura 9). Para o K, a faixa adequada é de 9,0 a 13,0 g kg⁻¹, sendo observado para *C. trichotoma* valores entre 24,8 e 31,1

g kg⁻¹. O Ca e o Mg possuem faixa de suficiência de 6,0 a 10 g kg⁻¹ e 5,0 a 8,0 g kg⁻¹, respectivamente; no entanto, para *C. trichotoma* os valores variaram entre 10,1 a 20,7 g kg⁻¹ e 10,6 a 15,5 g kg⁻¹.

Esses resultados demonstram que o elevado acúmulo desses nutrientes no tecido de *C. trichotoma*, pode estar associado ao fato do ambiente edáfico de ocorrência natural, normalmente ser pobre nutricionalmente, assim como mecanismos de reserva sendo que, a mesma acumula quantidades superiores de nutrientes nos vacúolos celulares, garantindo maior plasticidade às condições nutricionais adversas. Cabe ressaltar que o estado nutricional das plantas é variável entre as espécies, sendo influenciável pela idade, material genético das árvores e pelas condições ambientais as quais estão submetidas (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990), sendo a análise foliar um fator importante para avaliar a nutrição da planta e complementar a análise do solo (CQFS-RS/SC, 2016).

De forma geral, percebe-se que as melhorias nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, com o aumento dos teores da M.O., P, K, Ca e Mg no solo, promovidos pela adição do dejetos bovino (Tabela 7), indicam que em plantios com *C. trichotoma*, o uso dessa fonte de nutriente pode ser considerado uma alternativa aos fertilizantes minerais, que são oriundos de fontes escassas e de maior custo de aquisição. Cabe ressaltar que o dejetos de aves também é um satisfatório condicionador para a qualidade química do solo, sendo outra opção a ser considerada conforme a disponibilidade do material, para fertilização das plantas, pois apresentou resultados superiores a adubação mineral na maioria dos atributos de crescimento avaliados (Tabela 4).

4.5 CONCLUSÕES

A utilização do polímero hidroretentor em plantios de *C. trichotoma* em períodos de elevada intensidade pluviométrica não influencia a sobrevivência, os atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das mudas.

Mudas de *C. trichotoma* respondem positivamente a adubação, podendo ser cultivadas com fontes orgânicas. O uso de dejetos bovinos curtos incorporados ao solo proporciona às mudas maior atividade fotossintética, crescimento e acúmulo de matéria seca.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a *C. trichotoma*, com a ocorrência de elevados índices pluviométricos na fase pós plantio, o uso de polímeros hidroretentores não influencia a sobrevivência e o crescimento das plantas dois anos após plantio. Entretanto, seu uso com essa espécie deve ser melhor investigado, sob condição de maior temperatura e menor precipitação.

A espécie prefere solos bem drenados, não sendo recomendado plantios em áreas com exposição do lençol freático. Evidenciou-se ainda que a mesma é exigente em relação a fertilidade do solo. Assim, quando adequadamente fertilizada, possui grande potencial de crescimento em plantios homogêneos.

A espécie é responsiva à adubação fosfatada e aos 24 meses após o plantio apresentou maior crescimento quando cultivada com cerca de 220 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Além disso, doses aproximadas a essa proporcionam maior teor de pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica e acúmulo de matéria seca na parte aérea e radicular.

Os resultados obtidos comparando diferentes tipos de adubação, demonstraram que fontes orgânicas podem ser utilizadas como fertilizantes em plantios de *C. trichotoma*. O uso de dejetos bovinos é capaz de aumentar os teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo. A maior disponibilidade desses nutrientes proporciona melhorias nos atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos dessa espécie.

Percebe-se que a avaliação da emissão de fluorescência da clorofila *a* e da atividade da enzima fosfatase pode ser utilizada para identificar alterações no metabolismo das plantas, causadas pela baixa disponibilidade de nutrientes e monitorar a necessidade de adubação fosfatada nas mudas.

Em geral, sugere-se o uso da espécie *C. trichotoma* em plantios de florestamento e reflorestamento destinados a recuperação de áreas alteradas e fins comerciais. Essa espécie nativa, apresenta elevada taxa de sobrevivência e crescimento satisfatório, quando adequadamente fertilizada.

Novas pesquisas com a *C. trichotoma*, que envolvam a calibração de doses de nitrogênio e potássio, são necessárias visando propor indicações para adequada fertilização. Além disso, pesquisas abordando o uso de fosfatos naturais combinados com fontes minerais e orgânicas, contribuirão para sanar perguntas inerente ao cultivo de *C. trichotoma*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M. de. et al. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n.1, p. 141-150, 2015.
- AFONSO, M. V. et al. Composição do substrato, vigor e parâmetros fisiológicos de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.6, p.1019-1026, 2012.
- ALCARDE, J.C. **Fertilizantes**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.737-768.
- ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo. Anda, 1989. 35p. (ANDA, **Boletim Técnico**, 3).
- ALMEIDA, R. S. **Identificação e caracterização de genes de transportadores de fosfato em cana-de-açúcar** (*Saccharum* spp.). 2002. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Fast Track, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, A. A. **Fontes alternativas de cama de frangos para alimentação de ruminantes**. 1991. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza, 1991.
- ANTONELLI, P. V. et al. Desenvolvimento de *Cordia trichotoma* em função da adubação, em sistema silvipastoril no Sudoeste do Paraná-Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.3, n.3, p.59-70, 2015.
- APOSTOL, K. G.; JACOBS, D. F.; DUMROESE, K. Root desiccation and drought stress responses of bareroot *Quercus rubra* seedlings treated with hydrophilic polymer root dip. **Plant and Soil**, v.315, p.229-240, 2009.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.253-280.
- 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, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARBONA, V. et al. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. **Plant and Soil**, v.270, p.73-82, 2005.

ARREDONDO, D. L. L.; ESTRELLA, L. H. Engineering phosphorus metabolism in plants to produce a dual fertilization and weed control system. **Nature Biotechnology**, v. 30, n. 9, p. 889-893, 2012.

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).

BAKER, B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Boca Raton, v.59, p.89-113, 2008.

BARBOSA, T. C. **Tamanhos de recipientes e o uso de hidrogel no estabelecimento de mudas de espécies florestais nativas**. 2011. 111 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BAZANI, J. H. **Eficiência de fertilizantes fosfatados solúveis e pouco solúveis, com ou sem complexação com substâncias húmicas, em plantações de eucalipto**. 2014. 129 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

BDMET-INMET - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia. Temperaturas máximas e mínimas e humidade relativa do ar anos 2013/2015. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> . Acesso em: 12 jan, 2017.

BELLOTE, A. F. J; NEVES, E. J. M. Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural. Colombo, PR: Embrapa, 2001. 6p. (**Circular técnica** nº 54).

BERGHETTI, Á. L. P. et al. Morfologia de Plântulas e Controle de Patógenos em Sementes de *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.22, n.1, p.99-106, 2015.

BERGHETTI, Á. L. P. et al. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **Afr. J. Agric. Res.** V.11, n. 28, p.2450-2455, 2016.

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.

BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 344p.

BORTOLUZZI, E.C. et al. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**. v. 104, p. 196-204, 2015.

BOWYER, J. B.; LEEGOOD, R. C. Photosynthesis. In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B.; (eds) **Plant Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1997 p. 49-110.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantity of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, n. 1-2, p.248-254, 1976.

BRANCALION, P. H. S. et al. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de Florestas Tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

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

BRUNETTO, G. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1620-1628, 2012.

BUSATO, J.G. Guia para Adubação Orgânica. Niterói, Secretaria de Agricultura do Estado do Rio de Janeiro / Pesagro. 2009 29p. (**Manual Técnico**, 14).

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

CARMO, D. L. do et al. Crescimento de mudas de cafeeiro recém- plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206. 2014

CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, Campos: UENF, 1995.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, 2003, v.1, 1039 p.

CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.593-602, 2010.

CLOSE, D. C.; BEADLE, C.L. Total, and chemical fractions, of nitrogen and phosphorus in *Eucalyptus* seedling leaves: Effects of species, nursery fertiliser management and transplanting. **Plant and Soil**, The Hague, v. 259, n. 1, p. 85-95, 2004.

COELHO FILHO, M. A. et al. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.5, p.529–538, 2012.

COOKE, S. J., SUSKI, C. D. Ecological restoration and physiology: an overdue integration. **Bioscience**, v. 58, p. 957-968, 2008.

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, J. P. V. da et al. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.10, n.4, p.828-835, 2006.

CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

CROUS, K. Y.; ÓSVALDSSON, A.; ELLSWORTH, D. S. Is phosphorus limiting in a mature Eucalyptus woodland? Phosphorus fertilisation stimulates stem growth. **Plant Soil**, v. 391, n. 1, p. 293-305, 2015.

DELARMELINA, W.M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@mbiente On-line**. Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, maio/ago. 2013.

DIAS, L. P. R. et al. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no Planalto Sul Catarinense. Viçosa: **Ciência do Solo**, 2014.

DRANSKI, J. A. L. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de pinhão-manso em função da época de plantio e do uso de hidrogel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 489-498, 2013.

DUBOC, E. Cultivo de espécies nativas do Bioma Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa, 2004, 10p. (**Comunicado técnico**).

ELANCHEZHIAN, R. et al. Physiological and molecular approaches for improving phosphorus uptake efficiency of crops. **Current Science**. v. 108, n. 7, p. 1271–1279, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. p. 212.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. p. 353.

EQUIPE ESTATCAMP. **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. 2014.

ESPINDULA, M.C. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 6, 2010.

- FAGUNDES, M. C. P. et al. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 121-129, 2015.
- FAO. **State of the World's Forests**. Rome, Food and Agriculture of United Nations, 2011. 164 p.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005, 175 p.
- FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.
- FELIPPE, D. et al. Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 46, n. 2, p. 215 – 225, 2016.
- FELIPPI, M. et al. Fenologia, morfologia e análise de sementes de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 22 n. 3, p. 631-641, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FIFE, D.N.; NAMBIAR, K. S.; SAUR, E. Retranslocation of foliar nutrients in evergreen tree species planted in a Mediterranean environment. **Tree Physiol** v. 28, p. 187-196, 2008.
- FINK, J.R. et al. Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. **Acta Scientiarum**. v. 36, n. 3, p. 379- 387, 2014.
- FINK, J.R. et al. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil Tillage Research**. v. 155, p. 62-68, 2016.
- FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. Viçosa, MG: **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523. 2002.
- FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. **Photosynthetica Research**, v. 78, p.17-33, 2003.
- 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.
- FREITAS, T. A. S. de et al. Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 419-428, 2013.
- GASPARIN, E. et al. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GATIBONI, L.C. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1753-1761, 2008.

GIANELLO, C.; GIASSON, E. Fatores que afetam o rendimento das culturas e sistemas de cultivos. In: BISSANI, C. A. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 21-32.

GOMES, J. M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

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

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, SP, v. 5, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-58.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Soil fertility and growth of *Eucalyptus grandis* in Brazil under different residue management practices. In: NAMBIAR, E.K. (Ed.). **Site management and productivity in tropical plantations forests**. Bogor: CIFOR, 2008a. p. 51-62.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing Eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Pretoria, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008b.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, 2013.

GRACIANO, C. et al. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 236, p. 202-210, 2006.

GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typical Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.93, p.215-225, 2012.

HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J. Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. **J Exp. Bot** v. 59, p. 93-109, 2008.

HAWKESFORD, M. Functions of macronutrients. In: P. Marschner (Ed.), **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press. 2012, p. 135-189.

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indications: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G.A.F.; GRIME, J.P. (Eds.). **Methods in comparative plant ecology. A laboratory manual**. London: Chapman e Hall, 1993, p.148-152.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de Eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas Documentos, 2000.

HIKOSAKA, K. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. **Journal of Plant Research**, v.117, n.6, p.481-494, 2004.

HINSINGER, P. et al. Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? **Plant and Soil**, The Hague, v. 348, p. 29-61, 2011.

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.

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

JIANG, H. X.; TANG, N.; ZHENG, J.G. Phosphorus alleviates aluminum- induced inhibition of growth and photosynthesis in *Citrus grandis* seedlings. **Physiol Plantarum**, v. 137, n. 3, p. 298-311, 2009.

KALAJI, H. M.; GUO, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs, **Nova Science Publishers**, c. 12, p. 469 463, 2008.

KELLING, M. B. et al. Regímenes de riego y dosis de polímero hidrorretenedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*. **Revista Bosque** v. 38, n. 1, p. 123-131, 2017.

KELLING, M. B. **Produção de mudas e crescimento inicial a campo de *Cordia trichotoma* submetidas a diferentes condições de irrigação, polímero hidrorretentor, sombreamento e umidade do solo**. 2015. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

KIMANI, J.M.; DERERA, J. Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions. **Euphytica**, V. 166, p.1-13, 2009.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e Utilização de Dejetos Animais: aspectos agronômicos e ambientais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p. Disponível em:<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2005/.../Circ_63.pdf>. Acesso em: 12 novembro 2016.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.

LAMBERS, H. et al. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. **Trends in ecology and evolution**. v. 23, n. 2, p. 95-103, 2008.

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

LECIEJEWSKI, P. The effect of hydrogel additives on the water retention curve of sandy soil from forest nursery in Julinek. **Journal of Water and Land Development**, v. 13, p. 239-247, 2009.

LI, R. et al. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**. v. 5, n. 1, p. 751-757, 2006.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (ed.). **Methods in enzymology academic**. London, 1987. p. 350-381.

LIMA, J. D. et al. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.

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

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LOURENZI, C.R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1827-1836, 2011.

LOURENZI, C.R. et al. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.157-167, 2013.

LOURENZI, C.R. et al. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.949-958, 2014.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Topsoil foraging – an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**. v.237, n. 2, p. 225-237, 2001.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p

MANRIQUE, E. R. Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz. **Ecosistemas**, Madrid. v.12, n.1, 2003.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 2ed. Viçosa, MG: Universidade Federal Viçosa, 2005. 451 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London, Elsevier, 2012. 651 p.

MELO, E. A. S. C. **Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas**. 2014. 186 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MIMURA, T. Physiological control of phosphate uptake and phosphate homeostasis in plant cells. **Aust. J. Plant Physiol.** v. 28, p. 653-658, 2001.

NAVE, A. G. et al. Descrição das ações operacionais de restauração. In RODRIGUES, R. R. BRANCALION, P. H. S. ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. p. 176-238.

NETO, A.P. **Eficiência do uso de fósforo por cultivares de café e adaptação morfológica do sistema radicular sob deficiência de nutriente.** 2014. 97p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

NETTO, A. T. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, p. 199-209, 2005.

NIELSEN, U. et al. Response of belowground communities to shorttermphosphorus addition in a phosphorus-limitedWoodland. **Plant Soil**, v. 391, p. 321-331, 2015.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

OUZOUNIDOU, G. et al. Changes in variable chlorophyll fluorescence as a result of Cu-treatment: dose-response relations in *Silene* and *Thaspi*. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 29, n. 3, p. 455-462, 1993.

PANDA D.; SHARMA S. G.; SARKAR R. K. Chlorophyll fluorescence parameters, CO₂ photosynthetic rate and regeneration capacity as a result of complete submergence and subsequent re-emergence in rice (*Oryza sativa* L.). **Aquatic Botany**, v. 88, n. 2, p. 127-133, 2008.

PANDOLFO, C. M.; CERETTA, C. A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.38 n.6, p.1572-1580, 2008.

PLASSARD, C.; DELL, B. Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. **Tree Physiology**, Victoria, v. 30, p. 1129-1139, 2010.

PLESNICAR, M. E. et. al. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves as affected by phosphorus nutrition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, n. 276, p. 919-924, 1994.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólidos em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.

A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. p. 163-178.

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.

RADOMSKI, M. I. et al. Louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.) em sistemas agroflorestais. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. (Embrapa Florestas, **Documentos**, 242).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420 p.

RAO, I. M., TERRY, N. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet I. Changes in growth, gas exchange and Calvin cycle enzymes. **Plant Physiology**, v. 90, n.3, p. 814-819, 1989.

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.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SUDESUL, 1988. 525 p.

RITCHIE, G. A. et al. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling Processing, Storage and Outplanting**, v. 7, Agriculture. Handbook. 674. Washington: Department of Agriculture Forest Service, 2010. p. 17-81.

ROCHA, J. H. T. et al. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 535-543, 2013.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Requisitos de qualidade física e química de fertilidade minerais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilidade Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 059-078.

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

RUBIRA, J. L. P.; BUENO, L. O. **Cultivo de plantas forestales en contenedor**. Centro de Publicaciones. Madrid, 1996. 189 p.

SAAD, J. C. C. et al. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.404-411, 2009.

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.

- 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.
- SCHACHTMAN, D. P. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant physiology**. v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.
- SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (vell.) Arrab. ex Steud., na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 169-176, 2002.
- SHEN, J. et al. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 156, p. 99-1005, 2011
- SINGH, S. K. et al. Carbon dioxide diffusion across stomata and mesophyll and photo-biochemical processes as affected by growth CO₂ and phosphorus nutrition in cotton. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, n. 9, p. 801–813, 2013.
- SOBRAL, M. et al. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos: RiMA/Novo Ambiente, 2006. 350 p.
- SOUZA, C.A.M. et al. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, v.16, n.3, p.243-249, 2006.
- SOUZA, T.C. et al. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiol. Plant** 35, p.515-527, 2013.
- STAHL et al. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 287-295, 2013.
- TABALDI, L. A. et al. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n. 1, p. 43-48, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 954.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- 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**, Garça, SP, v. 24, n. 1, p. 40-47, 2014.
- TERRACOTTEM. **Guia técnico**. Capítulo 1.0. Pinhais PR. 1998. n. 45 p.3.
- THOMAS, D. R. et al. Understanding clinical dehydration and its treatment. **Journal of the American Medical Directors Association**, v.9, n. 5, p. 292-301, 2008a.

- 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, 2008b.
- TIECHER, T. L. et al. Physiological and nutritional status of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grown in soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 253-263, 2016.
- TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New forests**, v. 44, n. 3, p. 327-339, 2013.
- TURCHETTO, F. et al. Can transplantation of forest seedlings be a strategy to enrich seedling production in plant nurseries? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 375, p. 96-104, 2016.
- VACCARO, S.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Aspectos da composição florística e categorias sucessionais do estrato arbóreo de três subseres de uma floresta estacional decidual, no Município de Santa Tereza - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-18, 1999.
- VALADARES, S. V. Plasticidade fenotípica e frações fosfatadas em espécies florestais como resposta à aplicação de fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.2, p.225-232, 2015.
- VALE, G. F.R.; CARVALHO, S.P.; PAIVA, L.C. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 7-13, 2006.
- VENEKLAAS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New phytologist**. v. 195, n. 2, p. 306-320, 2012.
- 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.
- WHITE, P. J. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: MARSCHNER, P. (Ed). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3 ed. Academic, London, p. 7-47, 2012.
- WREGGE, M. S. et al. **Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2012, 334p.
- YAN, X. et al. Induction of a mayor leaf acid phosphatase does not confer adaptation to low phosphorus availability in common bean. **Plant Physiol.**, v.125, n. 4, p. 1901-1911, 2001.
- YUSUF M. A. et.al. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-38, 2010.

ZAMBROSI, F.C.B., MATTOS JR., D., SYVERTSEN, J.P. Plant growth, leaf photosynthesis and nutrient use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, n. 3, p. 487-495, 2011.

ZAMBROSI, F.C.B. et al. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 36, n. 2, p. 485-496, 2012a.

ZAMBROSI, F.C.B. et al. Contribution of phosphorus (^{32}P) absorption and remobilization for citrus growth. **Plant Soil** v. 355, n. 1, p. 353-362. 2012b.

ZANANDREA, I. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

ZAVISTANOVICZ, T. C. et al. Morphophysiological responses of *Ilex paraguariensis* seedlings to different substrates and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 21, n. 2, p. 111-115, 2017.

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- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para altura (H), diâmetro do coleto (DC), área foliar (AF), matéria seca aérea (MSA) e matéria seca radicular (MSR) das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)				
		H (cm)	DC(mm)	AF (cm ²)	MSA (g)	MSR (g)
Dose P	3	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Polímero hidroretentor	1	0,1704 ^{ns}	0,1760 ^{ns}	0,8703 ^{ns}	0,3544 ^{ns}	0,9975 ^{ns}
Dose P * Polímero hidroretentor	3	0,7172 ^{ns}	0,0817 ^{ns}	0,4502 ^{ns}	0,6321 ^{ns}	1,0000 ^{ns}
CV (%)		26,98	24,41	53,51	60,00	35,33
Média geral		196,25	56,81	2,20	1410,87	1364,00

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 2- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total) e carotenoides das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)			
		Chl <i>a</i> (mg g ⁻¹ FW)	Chl <i>b</i> (mg g ⁻¹ FW)	Chl total (mg g ⁻¹ FW)	Carotenoides (mg g ⁻¹ FW)
Dose P	3	0,0003*	0,0000*	0,0363*	0,0033*
Polímero hidroretentor	1	0,3310 ^{ns}	0,0530 ^{ns}	0,8759 ^{ns}	0,4202 ^{ns}
Dose P * Polímero hidroretentor	3	0,9066 ^{ns}	0,3888 ^{ns}	0,5233 ^{ns}	0,1859 ^{ns}
CV (%)		16,53	24,41	20,61	15,23
Média geral		0,85	56,81	2,55	0,38

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 3- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e atividade da enzima fosfatase ácida das mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)		
		F_0	F_v/F_m	Fosfatase (nmol Pi min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)
Dose P	3	0,0030*	0,0000*	0,0001*
Polímero hidroretentor	1	0,8183 ^{ns}	0,8902 ^{ns}	0,1624 ^{ns}
Dose P * Polímero hidroretentor	3	0,1848 ^{ns}	0,4241 ^{ns}	0,4431 ^{ns}
CV (%)		18,30	15,81	16,93
Média geral		112,90	0,56	216,19

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 4- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para teor de fósforo (P) nas raízes, caule, galhos e folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas sob diferentes doses de fósforo (P), na presença e ausência de polímero hidroretentor, 24 meses após o plantio

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)			
		Raiz (mg kg ⁻¹)	Caule (mg kg ⁻¹)	Galhos (mg kg ⁻¹)	Folhas (mg kg ⁻¹)
Dose P	3	0,1284 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Polímero hidroretentor	1	-	0,4465 ^{ns}	0,3179 ^{ns}	0,0932 ^{ns}
Dose P * Polímero hidroretentor	3	-	0,0935 ^{ns}	0,7413 ^{ns}	0,9053 ^{ns}
CV (%)		32,75	26,71	27,33	20,22
Média geral		1,51	0,76	1,02	3,23

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 5- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para teor de fósforo (P) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 metros, 24 meses após aplicação de diferentes doses de P em mudas de *C. trichotoma*

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)
		Teor de fósforo no solo (mg kg ⁻¹)
Dose P	3	0,0000*
Profundidade	1	0,0002*
Dose P* Profundidade	3	0,2809 ^{ns}
CV (%)		31,59
Média geral		17,49

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 6- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca aérea (MSA), matéria seca radicular (MSR) e área foliar (AF) de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidrorretentor

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)				
		H (cm)	DC (mm)	MSA (g)	MSR (g)	AF (cm ²)
Adubação	3	0,0000*	0,0203*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Polímero hidrorretentor	1	0,4645 ^{ns}	0,1410 ^{ns}	0,4958 ^{ns}	0,0587 ^{ns}	0,0101*
Adubação * Polímero hidrorretentor	3	0,7913 ^{ns}	0,0917 ^{ns}	0,2340 ^{ns}	0,0205*	0,0807 ^{ns}
CV (%)		20,56	29,88	27,07	29,45	72,07
Média geral		140,68	40,02	427,75	467,50	2,18

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 7- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para taxa de transporte de elétrons (ETR_m), fluorescência inicial (F₀) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) ácida de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidrorretentor

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)		
		ETR _m (μmol m ⁻² s ⁻¹)	F ₀	F _v /F _m
Adubação	3	0,0000*	0,0006*	0,0119*
Polímero hidrorretentor	1	0,3042 ^{ns}	0,3139 ^{ns}	0,0704 ^{ns}
Adubação * Polímero hidrorretentor	3	0,3018 ^{ns}	0,1366 ^{ns}	0,8378 ^{ns}
CV (%)		12,15	8,43	12,46
Média geral		156,62	100,12	0,55

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 8- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para os teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), carotenoides e atividade da enzima fosfatase ácida de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)			
		Chl <i>a</i> (mg g ⁻¹ FW)	Chl <i>b</i> (mg g ⁻¹ FW)	Carotenoides (mg g ⁻¹ FW)	Fosfatase (nmol Pi min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)
Adubação	3	0,0223*	0,0001*	0,0500*	0,0000*
Polímero hidroretentor	1	0,3340 ^{ns}	0,3963 ^{ns}	0,6462 ^{ns}	0,6052 ^{ns}
Adubação * Polímero hidroretentor	3	0,2414 ^{ns}	0,0687 ^{ns}	0,3034 ^{ns}	0,0571 ^{ns}
CV (%)		16,84	18,16	13,72	11,22
Média geral		0,96	0,49	0,38	379,06

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 9- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de mudas de *C. trichotoma* cultivadas durante dois anos sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)				
		N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
Adubação	3	0,0156*	0,1044 ^{ns}	0,7110 ^{ns}	0,0005*	0,9878 ^{ns}
Polímero hidroretentor	1	0,7595 ^{ns}	0,4898 ^{ns}	0,6106 ^{ns}	0,0554 ^{ns}	0,5143 ^{ns}
Adubação * Polímero hidroretentor	3	0,8966 ^{ns}	0,6240 ^{ns}	0,6010 ^{ns}	0,1052 ^{ns}	0,1217 ^{ns}
CV (%)		19,19	25,49	18,56	17,82	25,86
Média geral		32,32	3,05	28,48	16,83	12,82

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 10- Resultado da Análise de Variância (*p* valor) para teor de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo na camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, dois anos após o plantio de mudas de *C. trichotoma* sob efeito de diferentes adubações na presença e ausência de polímero hidroretentor

Fonte de Variação	GL	<i>p</i> valor (significância)				
		M.O. (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (cmolc kg ⁻¹)	Mg (cmolc kg ⁻¹)
Adubação	3	0,0004*	0,0000*	0,0000*	0,0353*	0,0035*
Profundidade	1	0,0034*	0,0001*	0,0038*	0,0000*	0,0001*
Adubação * Profundidade	3	0,1162 ^{ns}	0,0540 ^{ns}	0,3386 ^{ns}	0,9518 ^{ns}	0,3996 ^{ns}
CV (%)		24,73	41,97	25,09	33,37	45,42
Média geral		1,44	46,03	109,62	2,89	0,55

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.