



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE FITOSSANIDADE, ENGENHARIA RURAL E SOLOS

PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

**USO DE RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE E O IMPACTO EM SOLO DE
CERRADO CULTIVADO COM EUCALIPTO E ESPÉCIE ARBÓREA NATIVA**

Otton Garcia de Arruda

ILHA SOLTEIRA - SP

Março de 2012

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

USO DE RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE E O IMPACTO EM SOLO DE CERRADO CULTIVADO COM EUCALIPTO E ESPÉCIE ARBÓREA NATIVA

OTTON GARCIA DE ARRUDA

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlene Cristina Alves

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira – SP

Março - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

A779u Arruda, Otton Garcia de.
Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa / Otton Garcia de Arruda. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2012
101 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2012

Orientadora: Marlene Cristina Alves
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Canudo de pito. 3. Plantio florestal. 4. Solos – Manejo. 5. Resíduos orgânicos. 6. Atributos físicos do solo. 7. Atributos químicos do solo. 8. Física do solo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

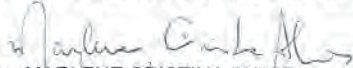
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie abórea nativa

AUTOR: OTTON GARCIA DE ARRUDA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI
Departamento de Agronomia / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Campus de Aquidauana

Data da realização: 09 de março de 2012.

OFEREÇO

Aos meus familiares, amigos e todos que acreditam em mim e apoiaram esse trabalho.

DEDICO

Aos meus pais Odil Messias Marques de Arruda e Marta Garcia de Arruda.

Ao meu irmão Pitter Douglas Garcia de Arruda.

À Silvana de Cássia Paulan

Aos meus familiares, principalmente: Elia, Enói, Eni, Lú, Cláudio, Fabrício, Cláudio W. Jr.,

Mônica, Ana, Edésio, Thiago, Milla, Mona.

Aos amigos: Ives, Cássio, Renato, Rodolfo, Whiller, Hebert, Felipe, Renan, João, Sebastião,

Mário, Luis Gustavo, Guilherme, Henrique, Cícero.

E a todas as pessoas que fizeram ou fazem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela minha vida, saúde e força de vontade.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, que possibilitou a realização desse trabalho e ensinamentos.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado concedida.

A toda minha família, por todo amor, dedicação, confiança, pelos ensinamentos e pelo carinho em todos os momentos dessa trajetória.

À Professora Dra. Marlene Cristina Alves, pela paciência e amizade, pelo exemplo de profissionalismo, apoio, orientação na condução deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários, estagiários e amigos do Laboratório de Física do Solo, principalmente: Sr. Valdivino dos Santos, Jean Fernando dos Santos Sousa e Lilian Cardoso pelo auxílio na coleta dos dados, análises e companheirismo.

A todos os funcionários da Unesp Ilha Solteira, sempre dispostos a ajudar.

Aos meus amigos e companheiros de Faculdade: Rômulo, Sebastião Souto, Débora, Mariana, Carol, Elza, Ariádne, Gisele, Laura, Lígia, Poliana, Danilo, Tatiana e Vinícius pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e pelos momentos de descontração.

À Fibria, Grupo Ambitec e viveiro de mudas da Cesp de Três Lagoas pelo fornecimento do resíduo celulósico e das mudas utilizadas nesse trabalho.

À todos aqueles que me apoiaram no decorrer deste curso, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho.

USO DE RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE E O IMPACTO EM SOLO DE CERRADO CULTIVADO COM EUCALIPTO E ESPÉCIE ARBÓREA NATIVA

Autor: Otton Garcia de Arruda

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlene Cristina Alves

RESUMO

Com a produção de papel e celulose as indústrias do setor têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, constituindo-se em uma grande preocupação ambiental e econômica. No intuito de retornar com estes subprodutos de forma sustentável à natureza, esse trabalho teve como objetivo testar a eficácia de um resíduo orgânico advindo da indústria de papel e celulose quanto a sua influência sobre os atributos químicos e físicos do solo e desenvolvimento de plantas arbóreas. O experimento foi implantado em um Latossolo Vermelho distrófico no município de Selvíria, MS. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, onde se avaliou o clone *Eucalyptus* spp. e a espécie nativa *Mabea fistulifera* com cinco tratamentos: sem adubação (controle), adubação mineral, 10 t ha⁻¹, 15 t ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹ do resíduo celulósico. Nas camadas de solo de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m avaliaram-se os atributos químicos: MO, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, Al e calculou-se a SB, CTC e V%; e os atributos físicos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, estabilidade de agregados em água, resistência do solo à penetração e infiltração de água. Para as características dendrométricas das plantas foram avaliados: altura média de plantas, diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) e diâmetro médio das copas (DMC) trimensalmente, até os 21 meses. Para a cultura do eucalipto, também foram determinados o diâmetro a altura do peito (DAP), o volume de madeira e o incremento médio anual do volume de madeira aos 21 meses. Os resultados foram analisados aplicando-se a comparação entre médias, contrastes e análise de regressão. Concluiu-se que o uso de resíduo celulósico influenciou os atributos do solo estudado, principalmente nas camadas superficiais do solo (0-0,10 m), negativamente para macroporosidade e infiltração de água para a cultura do eucalipto e estabilidade de agregados para a *M. fistulifera*. Para os atributos químicos elevou os teores de Ca, Mg, SB e CTC do solo para o eucalipto e MO, Ca, SB, CTC e V% para a *M. fistulifera* nas camadas de 0,0-0,10 m. Em relação ao desenvolvimento das plantas, a adubação mineral e doses do resíduo foram superiores ao controle e na maioria dos casos, não

diferiram entre si, comprovando que o material pode vir a complementar ou substituir parte da adubação mineral utilizada nas culturas.

Palavras-Chave: *Eucalyptus* spp. *Mabea fistulifera*. Plantio florestal. Manejo do solo. Resíduo orgânico. Atributos físicos do solo. Atributos químicos do solo.

USE OF WASTE FROM THE EXTRACTION OF PULP AND IMPACT OF SAVANNA SOIL CULTIVATED WITH EUCALYPTUS AND NATIVE TREE SPECIES

Author: Otton Garcia de Arruda

Adviser: Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves

SUMMARY

A large amount of solid waste and effluents have been daily generated by industries due to the cellulose and paper production, becoming a major environmental and economic concern. In order to return with these by-products in a sustainable way to nature, the aim of this study was to test the effectiveness of an organic waste from cellulose and paper industry as its influence on soil chemical attributes and development of eucalyptus plants. The experiment was implanted in an Oxisol in the city of Selvíria, MS, Brazil. A randomized block design was used, which evaluated *Eucalyptus* spp. and the native species *Mabea fistulifera* with five treatments: no fertilization (control), mineral fertilizers, 10 t ha⁻¹, 15 t ha⁻¹ and 20 t ha⁻¹ of cellulosic residue. In the soil layers of 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10 – 0,20 and 0,20 – 0,40 m, were evaluated: organic matter, pH, P, K, Ca, Mg, H+AL, Al and calculated the sum of bases, CEC and base saturation, and physical attributes: macroporosity, microporosity, total porosity, bulk density, aggregate stability in water, soil resistance to penetration and water infiltration. For the plants dendrometric characteristics were evaluated: plant height, stem diameter at the soil surface and diameter of the crown quarterly, up to 21 months. For the cultivation of eucalyptus the diameter at breast height, the volume of wood and the average of the annual increment of timber volume were also determined. The results were analyzed by comparison of means, contrasts and regression analysis. In conclusion, the use of cellulosic waste influence the soil characteristics studied mainly in the surface layers of soil (0-0,10 m), negatively macroporosity and infiltration of water to the cultivation of eucalyptus and stability of aggregates *M. fistulifera*. For the chemical increased the contents of Ca, Mg, SB and CEC of the soil for eucalyptus and OM, Ca, SB, CEC and V% for *M. fistulifera* layers of 0.0-0.10 m Regarding the development of plants, mineral fertilizer and residue doses were superior to the control and in most cases, did not differ, confirming that the material might complement or replace part of the mineral fertilizers used on crops.

Key words: *Eucalyptus* spp. *Mabea fistulifera*. Forest planting. Soil management. Organic waste. Soil physical attributes. Soil chemical attributes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Área de pastagem precedente ao experimento na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS. 27
- Figura 2 - Croqui do experimento implantado na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, no município de Selvíria, MS. 29
- Figura 3 - Resíduo celulósico sendo descarregado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS, janeiro de 2010. 31
- Figura 4 - Resíduo celulósico, obtido da Central de Compostagem do grupo Ambitec – Mogi Guaçu, SP. 31
- Figura 5 - Preparo de solo da área experimental, Selvíria, MS. 2009. 33
- Figura 6 - Aplicação de calcário dolomítico no solo da área experimental, Selvíria, MS. 2009. 33
- Figura 7 - Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais, registradas na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp Ilha Solteira, entre setembro de 2009 a dezembro de 2011. Selvíria, MS. 34
- Figura 8 - Subsolador florestal adaptado com haste de 0,50 m utilizado para abertura dos sulcos de plantio, no experimento implantado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, Selvíria, MS. 2010. 35
- Figura 9 - Abertura dos sulcos de plantio, na área experimental, Selvíria, MS. 2010. 35
- Figura 10 - Aplicação do composto, Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS. 2010. 36
- Figura 11- Detalhe do composto no sulco de plantio, Selvíria, MS. 2010. 36
- Figura 12 - A: Gradagem niveladora sobre os sulcos. B: Incorporação do resíduo no sulco de plantio, Selvíria, MS. 2010. 37
- Figura 13 - A, B, C- Plantio das mudas de *Mabea fistulifera* e *Eucalyptus* spp., na área experimental, Selvíria, MS. 2010. 38
- Figura 14 - Coleta de amostras deformadas de solo para análise granulométrica, na área experimental, Selvíria, MS. 2009. 39
- Figura 15 - Coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico, na área experimental Selvíria, MS. 2011. 40
- Figura 16 - Amostras em processamento no Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira. 2011. 41

Figura 17 - Coleta de torrões para análise de estabilidade de agregados em água, Selvíria, MS. 2011.....	41
Figura 18 - Infiltração de água no solo utilizando o mini infiltrômetro de disco, Selvíria, MS. 2011.....	42
Figura 19 - Teste de resistência do solo à penetração com o aparelho PenetroLog, Selvíria, MS. 2011.....	43
Figura 20 - Avaliação de desenvolvimento das espécies <i>Mabea fistulifera</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. aos 3 meses após plantio, maio de 2010, Selvíria, MS.	44
Figura 21 - Avaliação de desenvolvimento das plantas de <i>Mabea fistulifera</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. aos 6 meses após plantio, agosto de 2010, Selvíria, MS.....	45
Figura 22 - Avaliação de desenvolvimento das espécies <i>Mabea fistulifera</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. aos 18 meses após plantio, agosto de 2011, Selvíria, MS.....	46
Figura 23 - Infiltração média acumulada na linha da cultura de <i>Eucalyptus</i> spp.....	60
Figura 24 - Infiltração acumulada na entrelinha da cultura de <i>Eucalyptus</i> spp.	60
Figura 25 - Infiltração média acumulada na linha da cultura de <i>M. fistulifera</i>	63
Figura 26 - Infiltração acumulada na entrelinha da espécie <i>M. fistulifera</i>	64
Figura 27 - Resistência do solo à penetração para os tratamentos até a camada de solo de 0, 40 m, para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp.	66
Figura 28 - Umidade do solo a base de massa para os tratamentos, nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	67
Figura 29 - Resistência do solo à penetração dos tratamentos até a camada de solo de 0,40 m para a espécie <i>M. fistulifera</i>	69
Figura 30 - Umidade do solo a base de massa para os tratamentos, nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	70
Figura 31 - Altura de plantas em m, de <i>Eucalyptus</i> spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	81
Figura 32 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, de <i>Eucalyptus</i> spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011	83
Figura 33 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, de <i>Eucalyptus</i> spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	84

Figura 34 - Diâmetro à altura do peito (DAP) das plantas de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	86
Figura 35 - Volume estimado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) das plantas de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	87
Figura 36 - Incremento médio anual (IMA) ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) das plantas de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	87
Figura 37 - Altura de plantas de <i>Mabea fistulifera</i> . em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	90
Figura 38 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, da espécie <i>M. fistulifera</i> em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	91
Figura 39 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, de <i>M. fistulifera</i> em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.	93

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas, relação textural, relação silte/argila e classe textural do Latossolo Vermelho distrófico estudado nas camadas de 0-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,80-1,00 m, município de Selvíria, MS. 2009. 27
- Tabela 2 - Característica química do Latossolo Vermelho distrófico estudado nas camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m, município de Selvíria, MS. 2009. 28
- Tabela 3 - Caracterização química do composto proveniente de resíduos da fabricação de celulose, produzida no município de Mogi Guaçu - SP. 31
- Tabela 4 - Valores médios da macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011. 48
- Tabela 5 - Valores médios da porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e densidade do solo (kg dm^{-3}), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011. 49
- Tabela 6 - Valores médios da macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011. 50
- Tabela 7 - Valores médios da porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e densidade do solo (kg dm^{-3}), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011. 51
- Tabela 8 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie *Eucalyptus* spp., município de Selvíria, MS. 2011. 53
- Tabela 9 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e

	DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp., município de Selvíria, MS. 2011.	54
Tabela 10 -	Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie <i>M. fistulifera</i> , município de Selvíria, MS. 2011.	56
Tabela 11 -	Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie <i>M. fistulifera</i> , município de Selvíria, MS. 2011.	57
Tabela 12 -	Taxa constante de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, testes realizados na linha x entrelinha, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp, município de Selvíria, MS. 2011.	59
Tabela 13 -	Desdobramento da infiltração acumulada, em função dos tratamentos e locais de realização dos testes (linha x entrelinha), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp, município de Selvíria, MS. 2011.	59
Tabela 14 -	Taxa constante de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, testes na linha x entrelinha, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie <i>M. fistulifera</i> , município de Selvíria, MS. 2011.	62
Tabela 15 -	Resistência do solo à penetração (MPa), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp, município de Selvíria, MS. 2011.	65
Tabela 16 -	Resistência do solo à penetração (MPa), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie <i>M. fistulifera</i> , Selvíria, MS. 2011.	68
Tabela 17 -	Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m para e espécie <i>Eucalyptus</i> spp., município de Selvíria, MS. 2011.	72
Tabela 18 -	Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie <i>Eucalyptus</i> spp., município de Selvíria, MS. 2011.	74

Tabela 19 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie <i>M. fistulifera</i> , município de Selvíria, MS. 2011.....	77
Tabela 20 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie <i>M. fistulifera</i> , município de Selvíria, MS. 2011.....	78
Tabela 21 - Altura média de plantas (m), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15;18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie <i>Eucalyptus</i> spp., Selvíria, MS.	80
Tabela 22 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie <i>Eucalyptus</i> spp., Selvíria, MS.	82
Tabela 24 - Diâmetro à altura do peito (DAP), Volume de madeira médio estimado e Incremento Médio Anual (IMA), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), aos 21 meses da espécie <i>Eucalyptus</i> spp., Selvíria, MS.....	85
Tabela 25 - Altura média de plantas (m), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15;18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie <i>M. fistulifera</i> , Selvíria, MS.....	89
Tabela 26 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie <i>M. fistulifera</i> ., Selvíria, MS.	91
Tabela 27 - Diâmetro médio da copa (DMC), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie <i>M. fistulifera</i> , Selvíria, MS.....	92

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO	18
2.2	RESÍDUO CELULÓSICO E SUA INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	19
2.3	COBERTURA VEGETAL.....	22
2.4	ESPÉCIE <i>MABEA FISTULIFERA</i> MART. (CANUDO DE PITO).	23
2.5	<i>EUCALYPTUS</i> SPP.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL	26
3.1.1	Localização	26
3.1.2	Clima.....	26
3.1.3	Vegetação original e atual	26
3.1.4	Caracterização do Solo.....	27
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	28
3.3	PREPARO DO SOLO E IMPLANTAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	32
3.4	AVALIAÇÕES DO SOLO.....	39
3.4.1	Atributos físicos do solo	39
3.4.1.1	<i>Análise Granulométrica</i>	39
3.4.1.2	<i>Densidade do solo, Porosidade Total, Micro e Macroporosidade</i>	40
3.4.1.3	<i>Distribuição e estabilidade de agregados em água</i>	41
3.4.1.4	<i>Infiltração de água no solo.....</i>	42
3.4.1.4	<i>Resistência do solo à penetração</i>	42
3.4.2	Atributos químicos do solo.....	43
3.5	DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	47
4.1.1	Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo ...	47
4.1.2	Estabilidade de agregados em água	52
4.1.3	Infiltração de água no solo	57
4.1.4	Resistência do solo à penetração	64
4.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	70
4.3	DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	79
5	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui atualmente 6,3 milhões de hectares de florestas plantadas com espécies do gênero *Eucalyptus* e de *Pinus*, que fornecem insumos para a indústria madeireira, moveleira, siderúrgica e de celulose e papel (MATTOS, 2011). O plantio de árvores de rápido crescimento representa milhares de empregos de forma direta e indireta e contribuição de 3,4% ao Produto Interno Bruto (PIB) nacional (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2008). Sob o ponto de vista ambiental, contribuem para reduzir a pressão sobre as florestas nativas, concorrendo assim para sua preservação e dos recursos naturais nela existentes (ANDRADE, 2003). Segundo o mesmo autor para atender à demanda mundial de papel, a indústria de celulose vem obtendo incrementos expressivos de produção, o que faz com que haja aumento da demanda de matéria prima.

A necessidade de aumento de produção tem feito com que as empresas do setor busquem alternativas de manejo que aumentem a produtividade florestal (ALMEIDA, 2007; HARRISSON et al., 2003), dentre as quais, uma prática alternativa que tem sido avaliada é a utilização de resíduos oriundos de fábricas de papel e celulose.

Com a crescente produção de papel e celulose e a busca constante pela obtenção de qualidade dos produtos, as indústrias desse setor têm gerado, diariamente, grande quantidade de resíduos sólidos e efluentes, o que tem se constituído numa grande preocupação ambiental e econômica (RODRIGUES, 2004). A opção por aterro industrial para a disposição final destes resíduos é indesejável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (BELLOTE et al., 1998).

A disposição dos resíduos em solos agrícolas é uma alternativa muito utilizada em vários países, ela pode ser definida como colocação metódica ou forma de emprego, realizada de maneira ordenada e com o objetivo de utilizar o resíduo e não apenas eliminá-lo. É nesse contexto que têm surgido diversos trabalhos de investigação no sentido de buscar soluções alternativas para utilização destes resíduos, que permitam seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (ANDRADE et al., 2003; BELLOTE et al., 1998; RODRIGUES, 2004).

No intuito de retornar com estes subprodutos de forma sustentável à natureza, esse trabalho teve como objetivo estudar a eficácia de um resíduo orgânico advindo da indústria de

papel e celulose quanto a sua influência sobre os atributos químicos e físicos do solo e desenvolvimento de plantas arbóreas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO

O processo de urbanização e industrialização brasileira ocorreu de forma desordenada e sem considerar os aspectos de conservação do meio ambiente, resultando em cidades com infraestrutura deficiente e com baixa disponibilidade de serviços urbanos capazes de comportar a população. Neste contexto, torna-se necessária a conservação do meio ambiente, incentivando atividades que resultem em ganhos ambientais e aumento da produção de alimentos, para a qual uma das opções é a expansão da agricultura para o Cerrado (FERNANDES; MURAOKA, 2002).

Os solos da região do Cerrado são altamente intemperizados, apresentando baixa fertilidade, elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa CTC, predominando argilas de baixa atividade. Nesse ecossistema, o crescimento das raízes é reduzido na presença de excesso de alumínio, sendo igualmente afetado pela deficiência de cálcio, limitando a absorção de água e de nutrientes com conseqüente redução na produtividade das culturas (CARVALHO et al., 2004; FERNANDES; MURAOKA, 2002; FRAZÃO et al., 2008; MOREIRA et al., 2005).

De acordo com Canellas et al. (2007), mudanças no ambiente decorrentes de práticas de manejo inadequadas podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS) e que sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. No cerrado brasileiro, como nas demais regiões tropicais, a mineralização da matéria orgânica é bastante rápida, por causa da elevada temperatura e umidade do solo durante boa parte do ano, impossibilitando uma adequada reposição de nutrientes ao solo (CARVALHO et al., 2004).

Do ponto de vista físico, a manutenção ou incorporação da matéria orgânica diminuem a densidade do solo, criando poros de maior diâmetro, que favorecem a entrada de ar e a drenagem de água. Influencia positivamente na estrutura do solo, aumentando a estabilidade de agregados, que controlam os movimentos internos de água, ar e calor e o crescimento de raízes (VASCONCELOS et al., 2010).

2.2 RESÍDUO CELULÓSICO E SUA INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO

As fábricas de papel e celulose geram em torno de 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida e se deparam com problemas de ordem ambiental quanto à destinação desses resíduos (BELLOTE et al., 1998). Diversos trabalhos de investigação têm sido realizados no sentido de buscar soluções para utilização destes resíduos, permitindo o seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (ANDRADE et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005).

Os resíduos gerados durante os processos industriais podem ser de origem sólida, líquida ou gasosa. Todos são de grande importância ambiental, porém os de origem sólida, que apresentam reatividade e ocupam grande espaço físico, devem receber um cuidado especial. De acordo com Almeida et al.(2007), existem três técnicas principais para tratamento dos resíduos sólidos: incineração, redução da toxicidade, e disposição no solo. Esta última depende de fatores geográficos, geológicos e climáticos, além da potencialidade de reaproveitamento.

Neste sentido, o uso desses resíduos na agricultura tornou-se bastante comum devido à capacidade do solo de inativar quimicamente diversos compostos, principalmente os metais, que são retirados da solução do solo e retidos pela fase sólida por mecanismos de sorção (ALMEIDA et al., 2007).

Com o surgimento de novos sistemas de tratamentos, que reduzem sensivelmente o potencial poluidor dos resíduos, o uso agrícola, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou como corretivo da acidez do solo, dependendo da composição química dos mesmos, tem-se tornado uma alternativa barata e tecnicamente viável na preservação da qualidade ambiental. No entanto, ao se recomendar tal utilização, é necessário estudar possíveis alterações que possam ocorrer nas propriedades físico-químicas do solo, bem como a resposta das plantas a tais produtos (ALMEIDA et al., 2008).

Em geral, há dois tipos de resíduos de celulose e papel. O lodo primário que é formado por fibras de resíduos de madeira, possui alto nível de carbono e baixo nível de nutrientes, agindo como um consumidor de nitrogênio em potencial e o lodo secundário que é rico em biomassa microbiana que libera nutrientes para o solo durante a sua decomposição (HARRISON et al., 2003). Porém, estes resíduos possuem alta relação carbono/nitrogênio (BELLOTE et al., 1998) necessitando que ocorra sua completa decomposição para serem utilizados no solo como fertilizante orgânico (BELLOTE et al., 1998; MORO, 1994).

O processo de decomposição dos resíduos pode ser realizado por meio da inoculação de agentes decompositores e de forma natural. O primeiro é um método que ainda não é desenvolvido, em função principalmente do envolvimento de custos adicionais e necessidades frequentes de monitoramento. Já o segundo é o método mais utilizado, porém necessita de área de estocagem e um longo período para sua completa decomposição (2 a 3 anos) (BELLOTE et al., 1998).

Conforme Albuquerque et al. (2002) a indústria de celulose e papel descarta toneladas de resíduos com composição química variada, recuperando apenas parte dos reagentes envolvidos nos processos de transformação da madeira em celulose, gerando, assim, diversos resíduos. Nesses processos que envolvem a madeira, usualmente são gerados materiais com alto percentual de matéria orgânica, como a casca, serragem, a lama de cal, o lodo ativado, dregs, grits e a cinza de caldeira da queima de biomassa, sendo, portanto, as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico e que não são incorporados ao produto final. O processo químico mais empregado para a produção de celulose de eucalipto é o “Kraft”, que utiliza sulfeto de hidróxido de sódio como agente químico ativo (BARRETTO, 2008; BELLOTE et al., 1998).

A lama de cal é formada predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e os dregs são sedimentos sólidos alcalinos de cor escura e odor característico removidos no processo de clarificação das impurezas, sendo composto por carbonatos, hidróxidos e sulfetos, principalmente de cálcio e sódio. Ambos são derivados do processo de separação da celulose, que é extraída da madeira por meio de ataque alcalino. Grits é o resíduo sólido granulado resultante do processo de calcinação da lama cal e do calcário nos fornos (ALMEIDA et al., 2007; ALBUQUERQUE et al., 2002).

Além de possuir alguns nutrientes essenciais às plantas e de ter a capacidade de elevar o pH dos solos, os resíduos alcalinos gerados pela indústria de papel e celulose têm preço muito menor que os calcários comerciais, quando utilizados na mesma região de localização das unidades geradoras. Isso, sem dúvida, é um atrativo aos agricultores, devido à diminuição do custo produtivo das lavouras. A utilização de grandes quantidades desses produtos pode, no entanto, prejudicar alguns atributos do solo, em razão da presença de sódio (ALMEIDA et al., 2008).

Estudos com resíduos da indústria de celulose em plantios florestais proporcionaram os seguintes efeitos benéficos no solo: elevação do pH com consequente aumento na disponibilidade de determinados nutrientes, notadamente fósforo e micronutrientes; aumento da capacidade de troca de cátions dos solos; incorporação de nutrientes minerais necessários

às árvores; melhoria dos atributos físicos como a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Além disso, a aplicação de resíduos da celulose e cinza de caldeiras aumenta a atividade biológica do solo acelerando a decomposição da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (BELLOTE et al., 1998).

A aplicação de resíduo celulósico é semelhante ou até superior ao fornecido pela adubação química, especialmente para o cálcio. Dependendo da dose, tipo de resíduo e época de aplicação, é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos orgânicos (GUERRINI ; MORO, 1994).

Os compostos advindos da compostagem de resíduos provenientes da extração de celulose possuem características favoráveis. Estes compostos podem atuar sobre os atributos físicos e químicos do solo, criando-se condições de favorecimento à produção florestal (MORO, 1994). Harrison et al. (2003) explicam que os benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: melhoria do solo; aumento na produção de madeira; e benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque, que frequentemente é mais vigoroso nos seis meses seguinte à aplicação. Sendo uma alternativa viável, recomendada por influenciar de forma positiva na ciclagem de nutrientes e como fator de suprimento de nutrientes aos vegetais (BELLOTE et al., 1994; GUERRINI; MORO, 1994).

É nesse contexto que têm surgido diversos trabalhos de investigação no sentido de buscar soluções alternativas para utilização destes resíduos, que permitam seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (BELLOTE et al., 1998; ANDRADE et al., 2003; RODRIGUES, 2004). Entre as soluções preconizadas, a compostagem posiciona-se como uma alternativa viável, dado ao seu baixo custo e a sua simplicidade em termos tecnológicos, permitindo ainda a obtenção de fertilizantes orgânicos naturais, que irão contribuir para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, influenciando diretamente no desenvolvimento das espécies ali plantadas (ANDRADE et al., 1997, 2003, GUERRA, 2007; GUERRINI; MORO, 1994).

Trigueiro (2006) aplicou doses crescentes da mistura dregs e grits em combinação com diferentes doses de adubação mineral convencional em plantios do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e os resultados obtidos por ele mostraram que o uso desses resíduos nas doses de 4 e 8 t ha⁻¹ foram capazes de reduzir a acidez do solo, aumentando a mineralização da matéria orgânica e disponibilizando o enxofre nela contido. A alta concentração de cálcio elevou seu teor na solução do solo, favorecendo a lixiviação de Na no perfil. Os efeitos nos atributos físicos do solo foram pequenos e não diminuíram sua permeabilidade. As maiores produtividades

em volume de madeira com casca foram alcançadas com a aplicação dos resíduos em combinação com adubação mineral, confirmando seu potencial como insumo agrícola, capaz de corrigir a acidez do solo e revelando ser esta uma opção viável para a disposição final desses materiais.

2.3 COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal objetiva a proteção do solo dos agentes climáticos, mantém ou aumenta o teor de MOS, mobilizando e reciclando nutrientes, favorecendo a atividade biológica do solo (DUDA et al., 2003; GUERRA; TEIXEIRA, 1997; PERIN, 2001). Ela atua como elemento responsável pela estruturação do solo via sistema radicular. Este, por sua vez, constitui-se em uma malha densa de raízes que confere, à porção superficial do solo, uma defesa eficiente contra a ação erosiva da água, defesa esta que se manifesta na forma de resistência à erosão e aumenta proporcionalmente, com a densidade das raízes (PRANDINI et al., 1982). A vegetação é um fator importante de formação de agregados, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, e isto, indiretamente, fornece nutrientes à fauna do solo (KIEHL, 1979) sendo que o tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Gonçalves (2002) explica que o crescimento radial e longitudinal das raízes afeta o processo de agregação do solo por meio da compressão de partículas primárias e agregados, da desidratação, da incorporação de matéria orgânica e da exsudação de polissacarídeos. Com a absorção de água, ocorre a desidratação do solo que pode gerar um movimento de contração podendo ocorrer vários ciclos de umedecimento e secagem e uma mesma estação climática. Já as adições ao solo por exsudação de matéria orgânica originadas da decomposição das raízes, ciclagem e descamação de células têm sido calculadas como sendo da ordem de 20 a 80 % da massa seca de raízes finas.

De acordo com Gonçalves e Mello (2000) o hábito de enraizamento das árvores tem grande influência sobre o seu crescimento, podendo determinar, inclusive, seu domínio ou eliminação por espécies concorrentes. Os autores explicam que embora os hábitos de enraizamento sejam fortemente influenciados pelas condições locais do sítio (textura, estrutura do solo, barreiras físicas e químicas, etc), a constituição genética da árvore é o fator que mais os influencia. Concluem, que o hábito de crescimento radicular determina o volume global de solo ocupado pelas raízes, enquanto a intensidade de raízes determina o grau de exploração deste volume de solo.

2.4 ESPÉCIE *MABEA FISTULIFERA* MART. (CANUDO DE PITO).

A espécie *Mabea fistulifera*, conhecida popularmente como canudo de pito, é uma árvore com altura variando de 4 a 8 metros, decídua, heliófita, seletiva xerófito e pioneira. É característica de vegetação secundária de terrenos arenosos, principalmente do cerrado e de sua transição para a floresta semidecídua (LORENZI, 2002). Sua madeira é leve, mole e de baixa durabilidade, prestando-se apenas para obras internas leves, confecção de embalagens leves e brinquedos (densidade básica de $0,79 \text{ kg dm}^{-3}$). Produz anualmente grande quantidade de sementes, chegando a 9.600 sementes por quilograma (LORENZI, 2002).

Apresenta casca áspera, de cor marrom-escuro, com tronco ereto e ramos flexuosos, levemente achatados e com látex abundante. Suas flores são unissexuais, pequeninas, dispostas em racemos ferrugíneos terminais pêndulos (DURIGAN et al., 2004). Suas inflorescências produzem grande quantidade de pólen e néctar, exercendo grande atração sobre muitas espécies de animais (VIEIRA; CARVALHO-OKANO, 1989). É uma espécie que possui grande potencial para a produção de biodiesel, como constatado por Pereira (2007). Além disso, seu tronco apresenta látex abundante (DURIGAN et al., 2004), apresenta alta capacidade de rebrota pós-fogo (NUNES et al., 2002) e é bastante conhecida por colonizar solos que sofreram forte ação antrópica, o que confere relevância ao estudo feito para adquirir mais informações sobre esta espécie e obter conhecimentos para seu possível manejo.

As características vegetativas da *Mabea fistulifera* a permitem ocupar locais extremamente inóspitos, aliados a sua grande produção de néctar e pólen que funcionam como atrativos de um grande número de animais envolvidos em sua polinização. Aparentemente estes fatos tornam esta espécie potencialmente apta para ser utilizada na recuperação de áreas degradadas, tendo o papel de não somente melhorar as condições físicas e químicas do solo e as condições microclimáticas da área, mas também de permitir a recolonização da área por várias espécies animais. Estes seriam dispersores potenciais de outras espécies vegetais para a área em recuperação (LEAL FILHO; BORGES, 1992). Lorenzi (2002) também indica esta espécie para ser utilizada em programas de recomposição de áreas degradadas por esta planta ser adaptada à luz direta e pouco exigente em nutrientes no solo.

Em estudo realizado por Farias (2009), demonstrou que a espécie tem potencial para produção de óleos (teor de óleo na semente na ordem de 40%) e demais produtos florestais não

madeireiros, como mel, pólen e utilização das folhas indicada para produção de substâncias antioxidantes e os pedúnculos florais podem servir como anti-inflamatório. Aliando-se o múltiplo uso potencial da espécie com a estocagem de carbono e um ganho ambiental de alta relevância devido às características de alta regeneração natural da espécie, promovendo a recuperação de áreas degradadas e, ou recompondo a estrutura de fragmentos florestais impactados, justifica investimentos em pesquisas e tecnologias, silvicultura e manejo de plantações comerciais da espécie.

2.5 *EUCALYPTUS* SPP.

No Brasil, a área total absoluta do território é de aproximadamente 8.514.877 km² (851,4 milhões de hectares). Deste total, 477,7 milhões de ha correspondem a florestas naturais e 5,98 milhões de ha florestas plantadas. Deste total, 3,75 milhões correspondem a áreas com eucalipto; 1,80 milhões com *Pinus* e 425,2 mil com outras espécies, ocupando apenas 0,7 do território nacional (SBS, 2008).

O eucalipto é uma espécie exótica, originária da Austrália, perenifólia, pertencente à família das Mirtáceas, apresentando elevado número de espécies, variedades, híbridos e clones. Representa a espécie florestal mais plantada no mundo, apresentando condições de crescer e se desenvolver onde quer que as condições climáticas fossem tais que a temperatura do solo não sejam limitantes (BERTOLA, 2004).

As inúmeras espécies de eucalipto proporcionam ampla utilização de sua madeira: lenha, carvão, serraria, postes, escoras, estruturas, dormentes, mourões, caixotaria, laminação, marcenaria, construção civil, estacaria, celulose, chapas etc. A casca de muitas espécies pode ser utilizada para a extração de taninos, e as folhas de quase todas as espécies são ricas em óleos essenciais. Além destas utilizações dos produtos florestais do eucalipto, as plantações podem também servir a uma variedade de propósitos, tais como a produção de mel, ornamentação, recuperação de áreas degradadas, proteção de bacias hidrográficas, como quebra-ventos, e vários outros usos (CAMPOS, 2006).

No Brasil, as principais espécies de eucalipto utilizadas nos reflorestamentos são *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna*. Porém, com a evolução dos programas de melhoramento genético e da clonagem, atualmente estão sendo utilizados clones híbridos interespecíficos como: *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*, apresentando maior

“plasticidade “ quanto a adaptação aos diferentes sítios florestais e são mais produtivos e/ou apresentam melhores características da madeira (SILVEIRA et al. 2001).

Trigueiro (2006) analisou o crescimento de plantas de eucalipto em altura, diâmetro do caule e volume de madeira com casca perante aplicação de resíduos alcalinos da indústria de celulose, obtendo maiores produtividades com a aplicação de $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ da mistura dregs + grits e meia dose de adubação mineral, $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ da mistura dregs + grits e adubação mineral completa e $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ da mistura dregs + grits e adubação mineral completa, confirmando o potencial da mistura dos resíduos como insumo agrícola.

Em estudo de análise econômica da implantação da cultura do eucalipto com uso de resíduos da indústria de papel e celulose em substituição ao fertilizante químico, Arruda et al. (2011) concluíram que por causa do elevado custo de transporte e aplicação, a adubação orgânica mostrou-se mais onerosa em relação à mineral, sendo sua utilização viável, economicamente, apenas nas proximidades da indústria produtora.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 Localização

O experimento foi implantado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (UNESP), localizada no município de Selvíria, MS, à margem direita do rio Paraná. Esta se encontra entre as coordenadas geográficas de 51° 22' de longitude oeste de Greenwich e 20° 22' de latitude sul, a 327 m de altitude (DEMATTÊ, 1980).

3.1.2 Clima

O clima da região, classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köeppen, é o tropical úmido Aw, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (CENTURION, 1982). As temperaturas médias mensais variam entre 20,5° C em julho e 26,2° C em fevereiro, média anual de 24,7°C. As precipitações pluviométricas médias mensais variam de 20 mm em agosto a 254 mm em janeiro, e média anual de 1259 mm, e a umidade relativa anual média de 62,5 % (HERNANDEZ, 2007; MACHADO et al., 2007).

De acordo com Thornthwaite e Mather (1955), o balanço hídrico, efetuado para uma capacidade de água disponível (CAD) de 125 mm, indicou haver um déficit hídrico anual de 142,8 mm, sendo agosto o mês crítico para o suprimento de água às culturas agrícolas, assim, ao longo do ano há um período de 8 meses (março-outubro), no qual há déficit hídrico.

3.1.3 Vegetação original e atual

A vegetação nativa da região de estudo era tipicamente do Bioma Cerrado. Atualmente, essa vegetação vem sendo ocupada principalmente pela pastagem (Figura 1) e mais recentemente, pela cultura da cana-de-açúcar e eucalipto.

3.1.4 Caracterização do Solo

Anteriormente a instalação do experimento, realizou-se a caracterização da área e classificação do solo a partir de novembro de 2009, onde as informações obtidas foram imprescindíveis para a recomendação de adubação e manejos (Tabelas 1 e 2).

Figura 1 - Área de pastagem precedente ao experimento na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas, relação textural, relação silte/argila e classe textural do Latossolo Vermelho distrófico estudado nas camadas de 0-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,80-1,00 m, município de Selvíria, MS. 2009.

Atributo	Camada de solo		
	0-0,20 m	0,20-0,40 m	0,80-1,00 m
Areia total ⁽¹⁾	746,7	679,1	568,2
Areia grossa ⁽¹⁾	219,3	202,2	192,2
Areia fina ⁽¹⁾	527,4	476,9	376,0
Silte ⁽¹⁾	57,5	58,7	76,3
Argila ⁽¹⁾	195,8	262,2	355,5
Silte/Argila	0,29	0,22	0,21
Classe textural	Franco arenosa	Franco argilo arenosa	Argilo arenosa
Relação textural	1,55		

⁽¹⁾ (g kg⁻¹)

Fonte: Produção do próprio autor.

Para a coleta de amostras utilizou-se um trado de caneca, buscando atingir um metro de profundidade, coletando amostras deformadas nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,80-1,00 m. Com abertura de trincheiras utilizando enxadão, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m para análise de fertilidade do solo.

Tabela 2 - Característica química do Latossolo Vermelho distrófico estudado nas camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m, município de Selvíria, MS. 2009.

Camada (m)	P-resina mg dm ⁻³	MOS g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al	SB	CTC	V %	m %
0-0,05	5	27	5,1	2,4	10	11	25	0	23,4	48,4	48	0
0,05-0,10	3	22	4,7	1,6	8	5	28	2	14,6	34	34	12
0,10-0,20	3	19	4,8	1,1	7	4	26	2	12,1	32	32	14
0,20-0,40	3	13	4,6	0,7	4	2	24	4	6,7	22	22	37

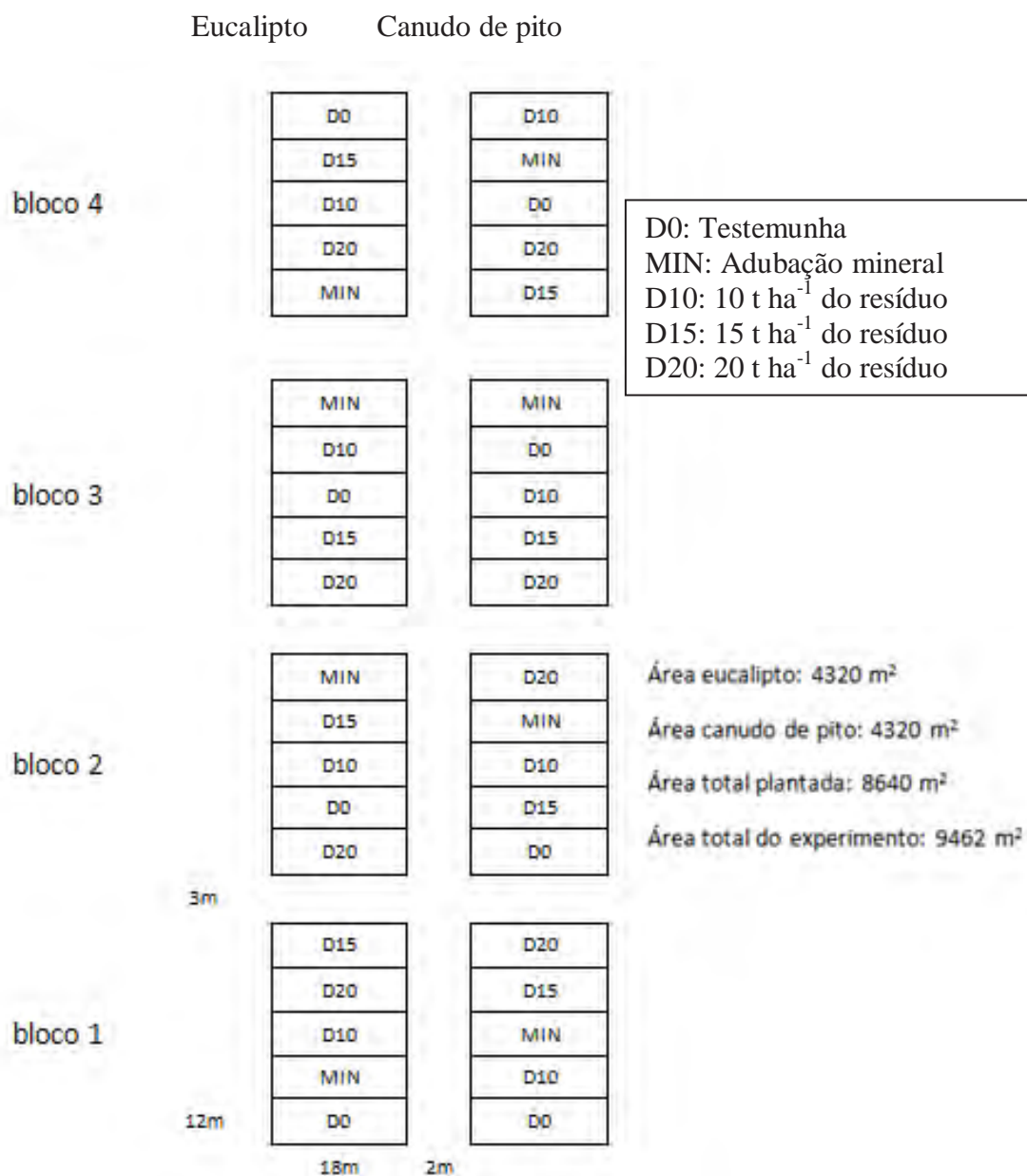
Fonte: Produção do próprio autor.

A partir dos resultados obtidos pela análise granulométrica (Tabela 1) e segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), determinou-se a nomenclatura atual no nível de Grande Grupo, sendo um Latossolo Vermelho distrófico, muito profundo de textura franco argilo arenosa. Sua fração argila é de baixa atividade e constituída por gibbsita e caulinita (DEMATTE, 1980).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com 5 tratamentos e 4 repetições, onde cada espécie vegetal foi tratada como um experimento distinto com as mesmas dimensões e manejo (Figura 2).

Figura 2 - Croqui do experimento implantado na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, no município de Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

As espécies utilizadas foram representadas pelos plantios do híbrido *Eucalyptus* spp., (*E. urophylla* x *E. grandis*) (eucalipto – espécie exótica) e *Mabea fistulifera* (canudo de pito - espécie nativa).

Os tratamentos estudados foram:

D0 – sem adubação

Min – adubação mineral de acordo com a necessidade da cultura

D10 – adubação com resíduo de acordo com a necessidade da cultura com 10 t ha⁻¹ do resíduo celulósico (base seca).

D15 – 15 t ha⁻¹ do resíduo celulósico (base seca).

D20 – 20 t ha⁻¹ do resíduo celulósico (base seca).

Cada bloco foi constituído por 180 árvores de *Eucalyptus* spp. e 180 árvores de *Mabea fistulifera*, sendo 36 por parcela. O espaçamento utilizado foi de 3,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas, com divisores de 2,0 m entre as parcelas e 3,0 m entre os blocos. As dimensões das parcelas foram de 18,0 m de largura (com 6 linhas de plantio espaçadas em 3 m), por 12,0 m de comprimento (possuindo 6 plantas espaçadas a 2,0 m). Foram consideradas úteis as quatro fileiras centrais, deixando as extremidades como bordadura. Portanto, dos 216,0 m² da parcela com 36 árvores, 96,0 m² constituíram a área útil, com 16 árvores usadas para as avaliações. As mudas de *Eucalyptus* spp. utilizadas no plantio foram procedentes da empresa Fíbria, localizada no Município de Três Lagoas, MS. As mudas de *Mabea fistulifera* foram doadas pela Cesp (Companhia Energética do Estado de São Paulo), viveiro de mudas, e foram produzidas a partir de sementes.

O resíduo orgânico (Figuras 3 e 4), foi cedido pela Central de Compostagem do Grupo Ambitec, na Unidade da International Paper em Mogi Guaçu, SP. Sua caracterização química foi realizada antes de sua aplicação (Tabela 3), fornecendo informações para a composição das doses, estando este com umidade média, a base de massa, de 0,63 kg kg⁻¹ no momento de sua aplicação. Era constituído por uma mistura de dregs, grits, lama cal, cinzas e outros resíduos gerados ao longo do processo industrial de extração da celulose e passou por um processo de compostagem por 30 dias, exposto em leiras ao ar livre e sofrendo revolvimento mecânico periodicamente.

De acordo com a composição química do resíduo orgânico (Tabela 3), os valores de metais pesados ficaram abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 375 de 2006, adequando-se para o uso com fins agrícolas.

A recomendação de adubação mineral da cultura do eucalipto foi realizada a partir do resultado da análise de solo (Tabela 2) e segundo Raij et al. (1997), pôde-se determinar a quantidade de nutrientes a serem aplicados, sendo que para a obtenção de produtividades elevadas, foi necessário a aplicação de 40kg de N ha⁻¹, 70kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 40kg K₂O ha⁻¹, em dois momentos diferentes: no plantio, 250 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16, que forneceu 20 kg de N ha⁻¹, 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 40 kg K₂O ha⁻¹; após 60 dias, foram aplicados 44,4 kg de uréia ha⁻¹, que forneceu o restante do nitrogênio necessário de acordo com a recomendação.

Tabela 3 - Caracterização química do resíduo proveniente da indústria de papel e celulose, produzida no município de Mogi Guaçu - SP.

Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	
pH	9,5	-----
Umidade, a 60 - 65°C	5,9	%
Nitrogênio	6,3	g de N kg ⁻¹
Carbono orgânico	186	g de C kg ⁻¹
Relação C/N	29,7	-----
Fósforo	2,4	g de P kg ⁻¹
Potássio	5,9	g de K kg ⁻¹
Cálcio	86,9	g de Ca kg ⁻¹
Magnésio	3,8	g de Mg kg ⁻¹
Enxofre	1,8	g de S kg ⁻¹
Boro	30,3	mg de B kg ⁻¹
Cobre	14,3	mg de Cu kg ⁻¹
Ferro	5458	mg de Fe kg ⁻¹
Manganês	845	mg de Mn kg ⁻¹
Zinco	27,9	mg de Zn kg ⁻¹
Sódio	1348	mg de Na kg ⁻¹

⁽¹⁾Resultado expresso na amostra em base seca.

Método de ensaio:

Para metais: US-EPA, SW-846, método 3051, com determinação por fotômetro de chama para Na e K, para os demais metais determinação por ICP-AES;

Para Nitrogênio total: método Kjeldahl;

Para carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica;

Para umidade: perda de massa a 60° C;

Para pH, determinação em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo: água).

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 3 - Resíduo celulósico sendo descarregado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS, janeiro de 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4 - Resíduo celulósico, obtido da Central de Compostagem do grupo Ambitec – Mogi Guaçu, SP.



Fonte: Produção do próprio autor.

Devido as poucas informações técnicas sobre as necessidades nutricionais do canudo de pito (*M. fistulifera*), adotou-se a recomendação de adubação mineral utilizada pelo viveiro de mudas nativas da Cesp, Jupiá, fornecendo 100 g da fórmula (8-28-16) por planta (166,70 kg ha⁻¹) e após 60 dias, 48,8 g de uréia (81,45 kg ha⁻¹) e 16,70 g de KCl por planta (27,80 kg ha⁻¹).

A adubação com o resíduo celulósico para ambas as espécies vegetais foi calculada mediante a análise química do mesmo (Tabela 3) e obedecendo as proporções estabelecidas para a adubação mineral para cultura do eucalipto. Sabendo-se que para obtenção de produtividades elevadas, é necessário a aplicação de 40kg de N ha⁻¹, 70kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 40kg K₂O ha⁻¹ citados anteriormente, e que 10 toneladas do resíduo contém 63kg de Nitrogênio (Tabela 3), 54,96kg de P₂O₅ (24kg de P x 2,29) e 71,41kg de K₂O (59,51kg de K x 1,2), estipulou-se então as doses de 10, 15 e 20 t ha⁻¹ do resíduo.

3.3 PREPARO DO SOLO E IMPLANTAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os trabalhos iniciaram-se em novembro de 2009, sendo a área selecionada e delimitada. Realizou-se uma aração profunda com arado de disco, visando à inversão da camada superficial do solo e incorporação da braquiária (Figura 5). Foi realizada a correção da acidez do solo com aplicação de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 85%) de acordo com análise de solo visando elevar a saturação por bases a 70 % (Tabela 2), em área

total e em seguida, incorporado superficialmente com uma grade leve de arrasto de 32 discos de 16 polegadas (Figura 6).

Figura 5- Preparo de solo da área experimental, Selvíria, MS. 2009.



Fonte: Produção do próprio autor.

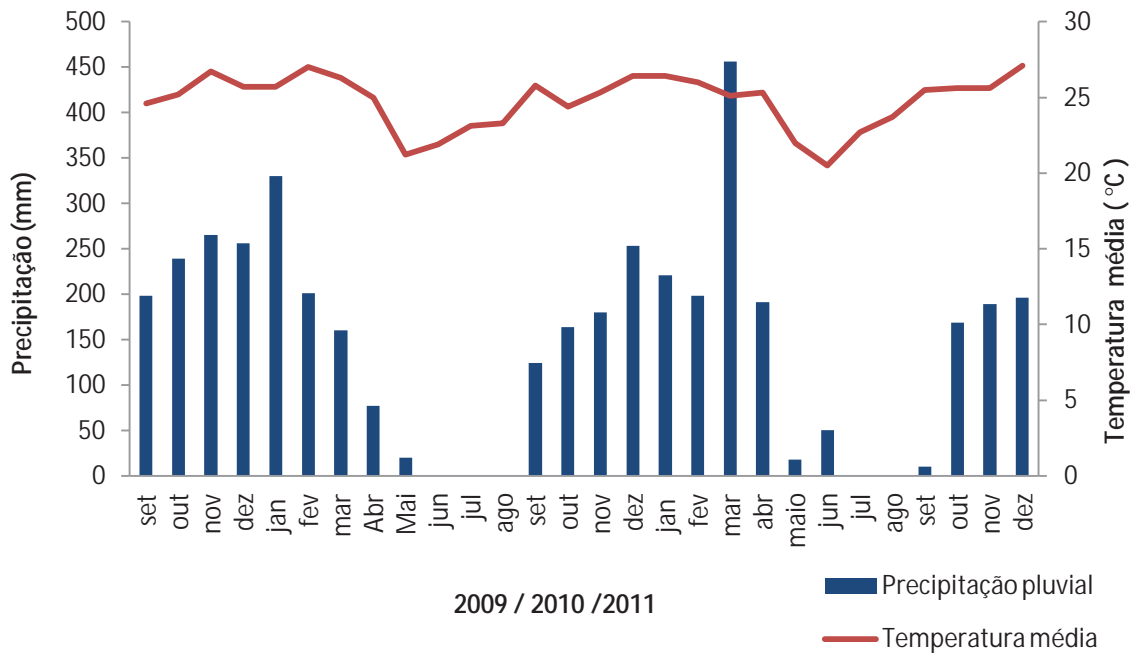
Figura 6 - Aplicação de calcário dolomítico no solo da área experimental, Selvíria, MS. 2009.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os dados de precipitação e temperatura registrados na estação meteorológica da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Ilha Solteira, durante a condução da pesquisa, estão apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais, registradas na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp Ilha Solteira, entre setembro de 2009 a dezembro de 2011. Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

Em fevereiro de 2010 utilizou-se uma gradagem niveladora superficial e em seguida efetuou-se a abertura dos sulcos de plantio (Figuras 8 e 9). Aplicou-se o resíduo celulósico e a adubação mineral de acordo com as doses estipuladas nas parcelas (Figuras 10 e 11) e em seguida a incorporação superficial dos mesmos (Figura 12).

A aplicação do adubo mineral e do resíduo celulósico foi realizada antecedendo o plantio das mudas. O controle de plantas invasoras foi realizado com roçagem na linha e os herbicidas Glifosato e Oxyfluorfen na entrelinha e, o controle de formigas de acordo com a necessidade. Aos 30 dias após o plantio, foi efetuado o replantio das mudas que morreram.

Figura 8- Subsolador florestal adaptado com haste de 0,50 m utilizado para abertura dos sulcos de plantio, no experimento implantado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, Selvíria, MS. 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 9- Abertura dos sulcos de plantio, na área experimental, Selvíria, MS.2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 10- Aplicação do composto, Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, localizado no município de Selvíria, MS. 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 11- Detalhe do composto no sulco de plantio, Selvíria, MS. 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

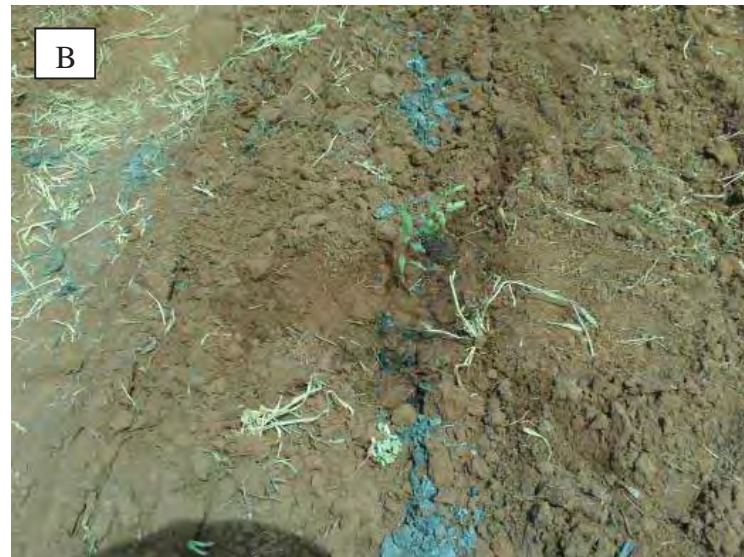
Figura 12- A: Gradagem niveladora sobre os sulcos. B: Incorporação do resíduo no sulco de plantio, Selvíria, MS. 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

Em fevereiro de 2010, no dia seguinte a aplicação das doses do resíduo celulósico e adubação mineral, foi efetuado o plantio manual das mudas de *Eucalyptus* spp. e *M. fistulifera* seguida de rega (Figura 13).

Figura 13 - A, B, C- Plantio das mudas de *Mabea fistulifera* e *Eucalyptus* spp., na área experimental, Selvíria, MS. 2010.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4 AVALIAÇÕES DO SOLO

3.4.1 Atributos físicos do solo

3.4.1.1 Análise Granulométrica

Foi realizada a análise granulométrica para a caracterização da textura do solo antes da implantação do experimento (Figura 14), que forneceu a proporção das partículas de acordo com seus diâmetros, agrupadas em sete classes: areia muito grossa (2,00 – 1,00 mm), areia grossa (1,00 – 0,50 mm), areia média (0,50 – 0,25 mm), areia fina (0,25 – 0,10 mm), areia muito fina (0,10 – 0,05 mm), silte (0,05 – 0,002 mm) e argila (<0,002 mm). As amostras compostas foram obtidas a partir da homogeneização de vinte amostras simples coletadas em ziguezague em área total. O método utilizado para análise foi o da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

Figura 14 - Coleta de amostras deformadas de solo para análise granulométrica, na área experimental, Selvíria, MS. 2009.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.1.2 Densidade do solo, Porosidade Total, Micro e Macroporosidade

As amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram coletadas em janeiro de 2011, aproximadamente um ano após o início do experimento. As trincheiras foram abertas próximas a linha de plantio das culturas, entre as plantas centrais da parcela. As mesmas foram processadas segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

Para a determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, com volume de $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com três repetições por parcela. A porosidade total foi determinada pela saturação do volume da amostra, microporosidade pelo método da mesa de tensão, com coluna de água de 0,60 m e a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Figuras 15 e 16).

Figura 15- Coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico, na área experimental Selvíria, MS.2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 16- Amostras em processamento no Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.1.3 Distribuição e estabilidade de agregados em água

Foram coletadas amostras indeformadas (torrões) em três pontos por parcela, entre as plantas, próximas a linha de plantio das culturas, nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m para avaliação da estabilidade de agregados (Figura 17). Utilizou-se a metodologia de Angers e Mehuys (2000) e os resultados foram representados pela porcentagem de distribuição do tamanho de agregados (classes de diâmetro: 6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm, 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e pelo diâmetro médio ponderado (DMP).

Figura 17- Coleta de torrões para análise de estabilidade de agregados em água, Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.1.4 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo foi avaliada na linha e na entrelinha das culturas empregando-se a metodologia proposta por Zhang (1997), onde se utilizou um mini infiltrômetro de disco (Decagon Devices). Foram avaliados três pontos por parcela em cada local. O mini infiltrômetro (Figura 18) foi colocado sobre o solo, sob uma camada fina de areia para garantir bom contato hidráulico entre o disco e o solo. As leituras foram realizadas de 30 em 30 segundos, até obter infiltração constante, sendo o aparelho ajustado para uma sucção h_0 igual a 2 cm. Foram determinadas a taxa constante de infiltração e a infiltração média acumulada de água no solo.

Figura 18 - Infiltração de água no solo utilizando o mini infiltrômetro de disco, Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.1.4 Resistência do solo à penetração

Para avaliação da resistência do solo à penetração foi utilizado um penetrômetro eletrônico, modelo FALKER PenetroLOG, com aptidão eletrônica para aquisição de dados (Figura 19). Foram avaliados três pontos em cada parcela, próximos a linha de plantio das culturas, com posterior elaboração de tabela e gráfico para cada cultura, relacionando a profundidade amostrada com a força aplicada para penetração no solo (MPa). O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 0,01 m de incremento de profundidade até 0,40 m. Juntamente com os testes de resistência, foram coletadas amostras de solo para a

determinação da sua umidade a base de massa, utilizando-se o método clássico de pesagem (EMBRAPA, 1997).

Figura 19 - Teste de resistência do solo à penetração com o aparelho PenetroLog, Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.2 Atributos químicos do solo

Foram coletadas amostras deformadas, nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m, em três pontos por parcela, entre as plantas, próximas a linha de plantio das culturas, formando uma amostra composta. Foram determinados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons. O teor de MOS foi determinado pelo método colorimétrico e o pH em cloreto de cálcio, acidez potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. Em seguida foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca + Mg + K$), capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H + Al)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$), de acordo com a metodologia descrita em Raij et al. (2001).

3.5 DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES

Para o acompanhamento do desenvolvimento das espécies foi avaliada a altura de todas as plantas da área útil com auxílio de uma régua graduada, o diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) utilizando um paquímetro digital e o diâmetro médio das copas utilizando uma trena, a cada três meses a partir da data inicial do plantio (Figuras 20 a 22).

Na avaliação de 21 meses, para a cultura do eucalipto, além das medições anteriores, foi determinado o diâmetro à altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo com auxílio de uma suta; o volume de árvores em pé, estimado a partir do cálculo do volume cilíndrico (VC) a partir da altura (H) e diâmetro à altura do peito (DAP) e convertido em volume sólido (VS) quando multiplicado por um fator forma médio (FF) de 0,5 (Couto et al., 1989); e estimado o incremento médio anual (IMA), obtendo assim a produtividade de madeira em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Figura 20 - Avaliação de desenvolvimento das espécies *Mabea fistulifera* e *Eucalyptus* spp. aos 3 meses após plantio, maio de 2010, Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 - Avaliação de desenvolvimento das plantas de *Mabea fistulifera* e *Eucalyptus* spp. aos 6 meses após plantio, agosto de 2010, Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.6 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média entre os tratamentos, confronto de grupos de tratamentos desdobrando os graus de liberdade dos tratamentos em contrastes ortogonais, contemplando no trabalho os dois de maior interesse: C1: controle x tipos de adubação (-4D0 +M +D10

+D15 +D20) e C2: adubação mineral x adubação com resíduo celulósico (+3M –D10 –D15 –D20). Foi realizada análise de regressão entre as doses de composto considerando o controle como dose zero mais as doses de 10, 15 e 20 t ha⁻¹, no nível de 5% de probabilidade. Os resultados originais das análises referentes aos atributos químicos do solo e análise de estabilidade de agregados foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$ devido à heterogeneidade das variâncias. Foi utilizado o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2008) para a realização das análises estatísticas.

Figura 22 - Avaliação de desenvolvimento das espécies *Mabea fistulifera* e *Eucalyptus* spp. aos 18 meses após plantio, agosto de 2011, Selvíria, MS.



Fonte: Produção do próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

4.1.1 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo

Diferenças significativas foram constatadas para a macroporosidade do solo na cultura do eucalipto (Tabela 4). Na camada de 0-0,05 m não foram observadas diferenças na comparação entre os tratamentos e nos contrastes entre os grupos de interesse. O comportamento entre as doses do resíduo celulósico se enquadrou em um modelo linear, onde a macroporosidade decresceu à medida que se aumentaram as doses.

Não foram conferidas diferenças nas camadas de solo de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 4) e notou-se nesta última, que os tratamentos apresentaram valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor considerado crítico para um bom desenvolvimento do sistema radicular (GREENLAND, 1981), indicando presença de camada compactada. Kiehl (1979) menciona que o solo ideal deve apresentar 1/3 de macroporosidade, considerando que o solo possui 50% de espaço poroso, isto corresponde a $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Na camada de 0,20-0,40 m a macroporosidade assume novamente valores acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e apresenta diferenças significativas (Tabela 4). Observa-se em C2 que o grupo formado pelas doses de resíduo celulósico foi superior, em média, a adubação mineral.

Não foram constatadas diferenças significativas para a microporosidade entre os tratamentos ao longo das camadas de solo (Tabela 4), demonstrando que essa propriedade relacionada ao armazenamento de água no solo não sofreu influência perante os diferentes tratamentos.

Para a porosidade total e densidade do solo (Tabela 5) somente foram constatadas diferenças significativas entre as doses de resíduo orgânico na camada de 0,20-0,40 m, apresentando um comportamento quadrático, sendo que o máximo valor de porosidade total foi obtido com a dose de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ e menor densidade do solo com a dose de $8,83 \text{ t ha}^{-1}$.

De acordo com Canevage et al. (1999) a densidade do solo em condições naturais aumenta com a profundidade do solo, considerando a diminuição do teor de matéria orgânica e o peso das camadas de solo subjacentes. Nota-se a íntima relação entre o volume de

macroporos e a densidade do solo, onde na camada de 0,10-0,20 m, menores valores de macroporosidade refletiram em maiores valores de densidade do solo.

Tabela 4 - Valores médios da macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Camadas de solo (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,223	0,162	0,094	0,120
Ad.Min.(M)	0,184	0,130	0,081	0,100
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,211	0,148	0,072	0,120
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,206	0,154	0,096	0,141
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,179	0,133	0,078	0,108
Contrastes		F		
C1	3,05	1,16	1,30	0,10
C2	0,71	0,59	0,01	5,09*
Regressão		F		
Linear	5,38 ⁽¹⁾	1,44	0,78	0,09
Quadrática	0,76	0,09	0,33	5,20
CV (%)	14,60	23,94	24,54	15,89
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,241	0,251	0,270	0,280
Ad.Min.(M)	0,286	0,276	0,290	0,310
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,257	0,264	0,278	0,290
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,243	0,254	0,273	0,270
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,260	0,263	0,277	0,290
Contrastes		F		
C1	1,94	2,40	0,91	0,34
C2	4,41	3,12	2,33	2,69
Regressão		F		
Linear	2,33	1,01	0,52	0,00
Quadrática	0,00	0,20	0,11	0,04
CV (%)	10,31	5,74	6,4	8,93

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. ⁽¹⁾ $y = -0,002x + 0,2269$, $R^2 = 0,83$

Fonte: Produção do próprio autor.

Para a cultura da *Mabea fistulifera*, diferenças significativas foram constatadas somente na camada de 0,05-0,10 m para o C2 (Tabela 6), onde a adubação mineral proporcionou ao solo maior macroporosidade e menor microporosidade em relação ao grupo formado pelos tratamentos com resíduo celulósico. Nota-se que em todas as camadas de solo analisadas os valores de macroporosidade encontrados se enquadram dentro do considerado ideal para o desenvolvimento das culturas, isto é, entre 0,10-0,16 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (BAVER, 1972; KIEHL, 1979). Tais alterações não refletiram em mudanças nos atributos de porosidade total

e densidade do solo (Tabela 7), sendo que o período de um ano após a implantação do experimento, a adição de resíduos orgânicos não proporcionou mudanças nesses atributos. Alves (2001) mencionou que quando ocorre a degradação da estrutura do solo, o efeito imediato é o aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade, fato não observado nesse trabalho.

Tabela 5 - Valores médios da porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e densidade do solo (kg dm^{-3}), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Camadas de solo (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,46	0,41	0,37	0,40
Ad.Min.(M)	0,47	0,41	0,37	0,41
10 t ha^{-1} (D10)	0,47	0,41	0,35	0,41
15 t ha^{-1} (D15)	0,45	0,41	0,37	0,41
20 t ha^{-1} (D20)	0,44	0,41	0,36	0,39
Contrastes			F	
C1	0,59	0,37	0,20	0,40
C2	2,79	0,00	3,18	0,00
Regressão			F	
Linear	4,30	1,31	0,37	0,13
Quadrática	1,46	0,58	0,28	5,29 ⁽¹⁾
CV (%)	4,10	5,60	3,96	
Densidade do Solo (kg dm^{-3})				
Controle (D0)	1,33	1,47	1,58	1,49
Ad.Min.(M)	1,32	1,49	1,61	1,50
10 t ha^{-1} (D10)	1,32	1,48	1,61	1,47
15 t ha^{-1} (D15)	1,33	1,46	1,56	1,47
20 t ha^{-1} (D20)	1,39	1,50	1,60	1,50
Contrastes			F	
C1	0,05	0,24	0,38	0,12
C2	0,84	0,12	0,36	0,81
Regressão			F	
Linear	1,3	0,25	0,18	0,01
Quadrática	1,8	0,09	0,01	10,82 ⁽²⁾
CV (%)	4,2	4,18	2,74	2,36

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

⁽¹⁾ $y = -0,0002x^2 + 0,003x + 0,3995$, $R^2 = 0,92$; ⁽²⁾ $y = 0,0003x^2 - 0,0053x + 1,4906$ $R^2 = 0,93$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 6 - Valores médios da macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS, 2011.

Tratamentos	Camadas de solo (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,229	0,162	0,111	0,138
Ad.Min.(M)	0,249	0,216	0,142	0,128
10 t ha^{-1} (D10)	0,264	0,173	0,098	0,110
15 t ha^{-1} (D15)	0,251	0,172	0,135	0,123
20 t ha^{-1} (D20)	0,247	0,174	0,104	0,120
Contrastes		F		
C1	1,13	1,38	0,40	3,30
C2	0,04	5,28*	3,98	1,00
Regressão		F		
Linear	0,67	0,72	0,07	1,74
Quadrática	1,40	0,13	0,06	1,75
CV (%)	16,45	18,16	22,19	13,97
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,214	0,225	0,236	0,249
Ad.Min.(M)	0,207	0,206	0,215	0,251
10 t ha^{-1} (D10)	0,208	0,224	0,235	0,263
15 t ha^{-1} (D15)	0,214	0,229	0,236	0,263
20 t ha^{-1} (D20)	0,212	0,224	0,237	0,260
Contrastes		F		
C1	0,12	0,43	0,22	2,04
C2	0,14	9,37**	3,97	2,13
Regressão		F		
Linear	0,00	0,03	0,01	1,49
Quadrática	0,10	0,01	0,01	1,06
CV (%)	9,47	4,94	7,87	4,95

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

O resultado apresentado em relação ao aumento da profundidade é o comportamento natural esperado em solos da região de cerrado, isto é, a densidade do solo em condições naturais aumenta com a profundidade do solo, considerando a diminuição do teor de matéria orgânica e o peso das camadas de solo sobrejacentes (CAVENAGE et al. 1999).

Acredita-se que com o tráfego de máquinas, na implantação dos tratamentos e as atividades de manutenção das culturas na área experimental, possa ter, provocado a

degradação da estrutura do solo na camada de 0,10-0,20 m, levando à compactação subsuperficial.

Tabela 7 - Valores médios da porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e densidade do solo (kg dm^{-3}), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a cultura de *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS, 2011.

Tratamentos	Camadas de solo (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Controle (D0)	0,44	0,39	0,35	0,39
Ad.Min.(M)	0,46	0,42	0,36	0,38
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,47	0,40	0,33	0,37
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,46	0,40	0,37	0,39
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,46	0,40	0,34	0,38
Contrastes		F		
C1	0,94	0,80	0,23	0,83
C2	0,19	1,38	0,92	0,01
Regressão		F		
Linear	1,26	0,52	0,25	0,18
Quadrática	2,01	0,10	0,06	0,37
CV (%)	8,03	8,74	4,76	3,81
Densidade do Solo (kg dm^{-3})				
Controle (D0)	1,34	1,51	1,58	1,49
Ad.Min.(M)	1,30	1,42	1,52	1,50
10 t ha ⁻¹ (D10)	1,28	1,47	1,60	1,54
15 t ha ⁻¹ (D15)	1,31	1,47	1,54	1,50
20 t ha ⁻¹ (D20)	1,32	1,45	1,58	1,52
Contrastes		F		
C1	0,66	1,02	0,38	1,62
C2	0,02	0,65	3,39	0,9
Regressão		F		
Linear	0,36	1,05	0,17	0,65
Quadrática	2,76	0,03	0,00	1,32
CV (%)	5,90	6,84	2,96	2,53

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

De maneira semelhante ao encontrado nesse estudo, Rodrigues (2004), aplicando doses crescentes de até 100 t ha⁻¹ de resíduo celulósico no solo sob o cultivo de *Pinus*, não obteve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis de densidade, porosidade total, macroporosidade, capacidade campo e água disponível, em nenhuma das profundidades até os primeiros 0,30 m.

Nota-se para ambas as espécies analisadas a diminuição da macroporosidade e porosidade total e também elevação de densidade do solo na camada de solo de 0,10-0,20 m, demonstrando que independente dos tratamentos, constitui-se ali uma camada compactada.

4.1.2 Estabilidade de agregados em água

Para a cultura do eucalipto não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para as camadas de solo analisadas (Tabelas 8 e 9). Observa-se de maneira geral, que o solo apresenta boa estrutura, com diâmetro médio ponderado (DMP) de 3,62 mm entre a camada de 0-0,40 m, onde obtêm-se maiores valores quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras de malhas superiores. De acordo com Castro Filho et al. (1998) quanto maior for o agregado, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. A classe de diâmetro dominante (retidos na peneira de malha 6-4 mm) possuiu 62,20% dos agregados, indicando que os agregados formados são bastante estáveis em água e 73,77% dos agregados estão na classe de tamanho maior que 2 mm, chamados de macroagregados.

A estabilidade estrutural depende da mineralogia, textura, proporção e concentração de cátions, substâncias orgânicas, sílica, óxidos e hidróxidos. Estudos realizados por Colodro et al. (2007) mostram que a adição de material orgânico no solo (lodo de esgoto) aumentou a atividade biológica e conseqüentemente melhorou a estrutura do solo.

De acordo com os resultados obtidos por Trigueiro (2006), a análise dos atributos físicos do solo mostra que a estabilidade de agregados não foi influenciada com a aplicação de resíduos celulósicos. Não sendo possível afirmar que os tratamentos aplicados promoveram agregação ou dispersão do solo, pois não foi notada nenhuma influencia nos percentuais das frações de maior tamanho. Esses resultados mostram que, apesar de possuir sódio (NaOH) em sua constituição, as doses adicionadas não foram suficientes para afetar a estabilidade dos agregados, podendo ser associado também ao efeito do cálcio, que pode promover a lixiviação do sódio das camadas mais superficiais.

Tabela 8 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie *Eucalyptus* spp., município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Classe de tamanhos de agregados (mm)						
	(DMP) mm	(6 - 4)	(4 - 2)	(2 - 1)	(1 - 0,5)	(0,5 - 0,25)	(< 0,25)
0-0,05 m							
Controle (D0)	3,56	61,12	11,64	4,60	6,27	6,46	9,92
Ad.Min.(M)	3,49	59,23	12,42	4,38	7,01	5,57	11,40
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,41	57,41	12,05	5,54	7,12	7,27	10,63
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,24	51,95	14,33	6,66	8,78	7,59	10,68
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,24	51,59	15,62	5,91	8,06	7,98	10,84
Contrastes				F			
C1	1,31	1,57	1,09	1,22	1,06	0,36	0,14
C2	0,98	1,30	0,34	3,18	0,67	4,63	0,07
Regressão				F			
Linear	2,47	2,95	3,31	3,23	3,64	2,39	0,15
Quadrática	0,04	0,01	0,73	0,53	0,07	0,04	0,00
CV (%)	4,50	8,21	11,87	13,54	15,21	11,05	15,16
0,05-0,10 m							
Controle (D0)	3,72	66,22	8,76	4,55	6,06	4,54	9,87
Ad.Min.(M)	3,68	63,12	11,81	5,41	7,10	5,24	7,34
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,88	69,71	8,60	4,46	5,58	4,44	7,20
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,86	69,67	8,86	3,23	4,53	4,08	9,62
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,62	62,22	11,52	4,70	7,48	5,74	8,36
Contrastes				F			
C1	0,02	0,01	1,22	0,04	0,00	0,04	0,92
C2	0,32	0,72	2,10	1,55	0,24	0,09	0,39
Regressão				F			
Linear	0,07	0,25	2,82	0,14	0,18	0,42	0,18
Quadrática	1,87	2,01	2,76	0,61	2,74	1,41	0,49
CV (%)	4,87	8,50	10,81	16,80	19,99	16,41	18,04

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 9 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie *Eucalyptus* spp., município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Classe de Tamanhos de Agregados (mm)						
	(DMP)	(6 - 4)	(4 - 2)	(2 - 1)	(1 - 0,5)	(0,5 - 0,25)	(< 0,25)
	mm	%					
0,10-0,20 m							
Controle (D0)	3,46	58,22	12,04	6,49	7,78	5,78	9,70
Ad.Min.(M)	3,72	64,40	11,56	5,14	6,66	5,02	7,24
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,43	57,42	13,11	5,18	7,38	6,05	10,86
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,82	65,50	13,53	5,08	5,44	4,72	5,74
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,32	53,52	14,66	6,82	9,20	6,73	9,08
Contrastes				F			
C1	0,33	0,16	0,82	0,96	0,36	0,08	0,62
C2	0,98	1,20	2,60	0,29	0,21	0,56	0,46
Regressão				F			
Linear	0,00	0,04	2,16	0,00	0,01	0,02	0,52
Quadrática	0,84	0,90	0,03	2,57	2,29	0,68	0,07
CV (%)	4,36	7,63	8,69	13,16	14,52	13,54	16,68
0,20-0,40 m							
Controle (D0)	3,62	62,38	10,27	7,01	7,46	5,66	7,22
Ad.Min.(M)	3,78	65,55	11,51	5,62	7,04	3,97	6,31
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,88	68,82	9,55	5,67	6,14	4,12	5,69
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,91	69,54	9,78	4,97	5,7	4,26	5,75
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,78	66,45	9,68	5,65	6,98	4,79	6,45
Contrastes				F			
C1	0,96	0,79	0,05	1,74	0,21	1,41	0,85
C2	0,09	0,16	1,52	0,08	0,21	0,13	0,08
Regressão				F			
Linear	0,45	0,43	0,1	0,97	0,06	0,34	0,3
Quadrática	0,57	0,42	0,13	0,6	0,62	1,03	0,96
CV (%)	4,8	8,14	12,71	16	21,8	19,61	15,55

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Para a espécie *M. fistulifera* foram verificadas diferenças significativas somente na camada de 0-0,05 m (Tabela 10). Para a variável DMP não foi verificado diferença na comparação entre os tratamentos, porém o C2 indicou haver superioridade do tratamento com adubação mineral em relação à média dos tratamentos com resíduo celulósico. Na análise de regressão, foi verificado um comportamento linear, onde à medida que aumentou as doses do

resíduo, ocorreu diminuição do DMP, fato negativo para a estrutura do solo. Tal tendência também pode ser notada para o eucalipto na mesma camada de solo, porém não houve significância.

Nota-se diminuição na porcentagem de distribuição de agregados entre as doses do resíduo em comparação com a adubação mineral de modo linear na classe de diâmetro entre 6-4 mm e conseqüente aumento nas classes de 4-2 mm, 2-1 mm e <0,25 mm (Tabela 10). Verificou-se, portanto, um possível efeito negativo do uso do resíduo celulósico sobre a estrutura do solo para essa camada de solo, possivelmente devido à elementos constituintes desse material. Tais diferenças significativas ficaram restritas na camada superficial do solo, não influenciando nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m (Tabelas 10 e 11).

Albuquerque et al. (2002) argumentam que os resíduos alcalinos da indústria de celulose possuem capacidade de elevar o pH, graças à presença de hidróxido; no entanto, apresentam sódio em sua composição. Os solos com elevada porcentagem de sódio trocável são susceptíveis ao selamento superficial e erosão hídrica. Tal fato pode ser explicado pela dispersão física dos agregados do solo, causada pela ação do impacto das gotas de chuva e dispersão química, que depende da porcentagem de sódio trocável no solo e da concentração eletrolítica da solução do solo. O selamento superficial, formado pelo preenchimento dos poros da camada superior do solo por finas partículas oriundas da dispersão de agregados, reduz a infiltração de água no solo e aumenta a erosão hídrica (REICHERT; NORTON, 1996).

De maneira adversa ao encontrado nesse trabalho, Albuquerque et al. (2002) verificaram que a aplicação de doses crescentes de resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na superfície do solo não alterou a estabilidade dos agregados determinada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), sendo média de 4,86 mm para um Latossolo e 5,19 mm para um Cambissolo, o que representa agregados de alta estabilidade, justificando que embora tenha aumentado o fornecimento de sódio, esse pode ser lixiviado rapidamente e a adição de cálcio e magnésio podem minimizar o efeito dispersante.

Tabela 10 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Classe de Tamanhos de Agregados (mm)							
	(DMP)	(6 - 4)	(4 - 2)	(2 - 1)	(1 - 0,5)	(0,5 - 0,25)	(< 0,25)	
	mm			%				
0-0,05 m								
Controle (D0)	4,1	76,19	6,55	c	2,7	4,58	3,89	6,09
Ad.Min.(M)	4,15	77,04	6,93	bc	2,54	3,85	3,88	5,77
10 t ha ⁻¹ (D10)	4,01	73,01	8,17	bc	3,24	4,75	3,9	6,76
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,48	58,79	12,62	ab	5,02	7,04	6,14	10,42
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,39	55,94	14,03	a	5,42	7,67	6,2	10,74
Contrastes				F				
C1	2,79	3,55	8,5	*	3,14	0,80	0,89	2,89
C2	5,80*	6,78*	11,71	**	6,69*	3,33	1,77	7,18*
Regressão				F				
Linear	7,00 ^{*(1)}	8,59 ^{*(2)}	20,15 ^{***(3)}		7,80 ^{*(4)}	2,98	3,12	8,13 ^{*(5)}
Quadrática	0,39	0,45	0,7		0,3	0,35	0,51	0,54
CV (%)	4,42	7,25	11,82		16,38	20,77	18	13,53
0,05-0,10 m								
Controle (D0)	4,20	78,26	6,98		2,64	3,04	3,31	5,77
Ad.Min.(M)	4,07	73,77	9,32		3,27	4,14	3,44	6,05
10 t ha ⁻¹ (D10)	4,19	76,45	9,35		2,84	3,43	2,58	5,34
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,98	70,65	10,76		4,25	4,65	3,56	6,12
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,96	70,46	10,32		4,26	4,90	3,78	6,29
Contrastes				F				
C1	0,57	0,85	3,32		1,18	1,58	0,09	0,07
C2	0,02	0,05	0,17		0,20	0,02	0,05	0,02
Regressão				F				
Linear	1,02	1,30	2,83		1,86	1,93	0,37	0,19
Quadrática	0,10	0,05	0,39		0,00	0,00	0,32	0,10
CV (%)	3,99	6,86	16,82		23,46	21,37	19,57	14,55

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F. ⁽¹⁾: $y = -0,0385x + 4,1783$, $R^2 = 0,83$; ⁽²⁾: $y = -1,0901x + 78,246$, $R^2 = 0,85$; ⁽³⁾: $y = 0,394x + 5,91$, $R^2 = 0,90$; ⁽⁴⁾: $y = 0,1455x + 2,4583$, $R^2 = 0,88$; ⁽⁵⁾: $y = 0,2564x + 5,618$, $R^2 = 0,82$. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 11 - Valores médios da % de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Classe de Tamanhos de Agregados (mm)							
	(DMP)	(6 - 4)	(4 - 2)	(2 - 1)	(1 - 0,5)	(0,5-0,25)	(<0,25)	
	mm						%	
0,10-0,20 m								
Controle (D0)	4,20	79,06	5,62	2,57	3,52	2,92	6,32	
Ad.Min.(M)	4,26	79,6	6,44	3,21	3,36	2,72	4,67	
10 t ha ⁻¹ (D10)	4,22	77,34	8,62	3,35	3,57	2,81	4,32	
15 t ha ⁻¹ (D15)	4,06	74,67	7,20	3,38	4,13	6,25	4,38	
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,98	71,69	8,65	4,50	6,16	3,67	5,33	
Contrastes	F							
C1	0,18	0,48	1,04	1,65	0,47	0,33	0,86	
C2	1,06	1,16	0,53	0,27	1,14	0,63	0,00	
Regressão	F							
Linear	1,03	1,37	0,77	2,22	2,11	0,63	0,23	
Quadrática	0,32	0,17	0,15	0,08	0,79	0,05	0,98	
CV (%)	3,27	5,34	23,01	20,06	22,99	31,96	20,2	
0,20-0,40 m								
Controle (D0)	3,57	60,52	11,94	6,46	8,15	5,57	7,35	
Ad.Min.(M)	3,84	67,78	10,23	4,53	7,38	4,04	6,04	
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,6	62,11	10,14	6,29	8,42	5,96	7,08	
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,94	68,89	12,26	4,88	5,62	3,57	4,78	
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,59	60,97	11,57	7,02	7,94	5,51	7,00	
Contrastes	F							
C1	0,58	0,6	0,15	0,27	0,07	0,3	0,66	
C2	0,31	0,34	0,48	1,56	0,00	0,54	0,02	
Regressão	F							
Linear	0,22	0,19	0,01	0,01	0,11	0,12	0,34	
Quadrática	0,26	0,28	0,21	0,69	0,05	0,1	0,4	
CV (%)	5,13	9,02	14,63	17,18	17,97	19,47	16,11	

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.1.3 Infiltração de água no solo

Na análise da taxa constante de infiltração de água no solo para os tratamentos com a espécie *Eucalyptus* spp. foram verificadas diferenças significativas (Tabela 12). Na comparação entre os tratamentos, o controle foi superior ao tratamento com resíduo celulósico

na dose de 15 t ha⁻¹. Na análise de contrastes, C1 foi significativo ($p < 0,05$), de modo que o controle apresentou taxa constante de infiltração superior à média dos tratamentos com alguma forma de adubação, em 6,10 cm h⁻¹. Na análise entre as doses, estas apresentaram uma tendência linear decrescente ($R^2 = 0,76$), diminuindo a infiltração da água no solo com o aumento das doses.

Isto ocorreu provavelmente devido a formação de selamento na camada superficial do solo, responsável pela redução da infiltração da água no solo. A formação desse selo pode ser devido a dois mecanismos: a dispersão física dos agregados do solo, causada pela ação do impacto das gotas de chuva e dispersão química, que está relacionada a percentagem de sódio trocável no solo e da concentração eletrolítica da solução do solo (ALBUQUERQUE et al., 2002). Embora a concentração de sódio no resíduo celulósico utilizado no experimento seja baixa (Tabela 1), pode proporcionar, mesmo que temporariamente até sua lixiviação, o preenchimento dos poros da camada superior do solo por finas partículas oriundas da dispersão de agregados (efeitos observados nas Tabelas 8 e 10), reduzindo a infiltração de água no solo.

Constatou-se maior taxa constante de infiltração na entrelinha da cultura em comparação com os testes realizados na linha (Figuras 23 e 24). Tal resultado foi contrário ao esperado, pois na linha da cultura houve maior mobilização mecânica devido à abertura dos sulcos de plantio para as mudas. Além disso, o impacto do tráfego de máquinas agrícolas na linha é menor do que na entrelinha. A adição do material orgânico não teve efeito benéfico sobre a infiltração.

Para a infiltração média acumulada foi verificada a interação entre os tratamentos e o local no solo onde foi realizado o teste de infiltração (Tabela 12), procedendo-se, portanto, o desdobramento (Tabela 13). Na linha da cultura, o controle (D0) apresentou maior infiltração média acumulada, diferindo estatisticamente de D15. Em C1, os tratamentos com algum tipo de adubação foram inferiores, em média, 14,3 cm h⁻¹ em relação ao controle (Tabela 13). Na análise entre as doses na linha, constatou-se tendência linear de decréscimo da infiltração da água em função do aumento das doses do resíduo celulósico, indicando que este influenciou negativamente. Não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos na entrelinha da espécie do eucalipto, sendo superior estatisticamente às amostragens realizadas na entrelinha em relação à linha, para os tratamentos D15 e D20.

Tabela 12 - Taxa constante de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, testes realizados na linha x entrelinha, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração	Infiltração acumulada
	(cm h ⁻¹)	(cm)
Controle (D0)	28,69 a	39,24
Ad.Min.(M)	24,84 ab	33,32
10 t ha ⁻¹ (D10)	23,74 ab	34,70
15 t ha ⁻¹ (D15)	21,09 b	32,18
20 t ha ⁻¹ (D20)	22,96 ab	33,17
Linha	22,11 b	30,87
Entrelinha	26,42 a	38,17
Contrastes	F	
C1	8,40 *	-
C2	1,30	-
Regressão	F	
Linear	7,30 ^{*(1)}	-
Quadrática	1,76	-
	F	
Tratamentos	2,74 *	0,74
Local (linha x entrelinha)	7,92 **	6,36 *
Trat x Local	2,69	3,21 *
CV (%)	19,92	26,49

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F. ⁽¹⁾ $y = -0,3312x + 27,846$ $R^2 = 0,76$

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 13 - Desdobramento da infiltração acumulada, em função dos tratamentos e locais de realização dos testes (linha x entrelinha), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Infiltração acumulada (cm)	
	Linha	Entrelinha
Controle (D0)	42,31 a	36,16
Ad.Min.(M)	33,93 ab	32,70
10 t ha ⁻¹ (D10)	31,92 ab	37,48
15 t ha ⁻¹ (D15)	22,58 b B	41,79 A
20 t ha ⁻¹ (D20)	23,63 ab B	42,70 A
Contrastes		
C1	7,82 **	0,24
C2	2,23	2,27
Regressão		
Linear	9,30 ** ⁽¹⁾	1,09
Quadrática	0,26	0,04

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna, e maiúsculas na linha diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.
⁽¹⁾ $y = -1,0261x + 41,653$ $R^2 = 0,92$

Fonte: Produção do próprio autor.

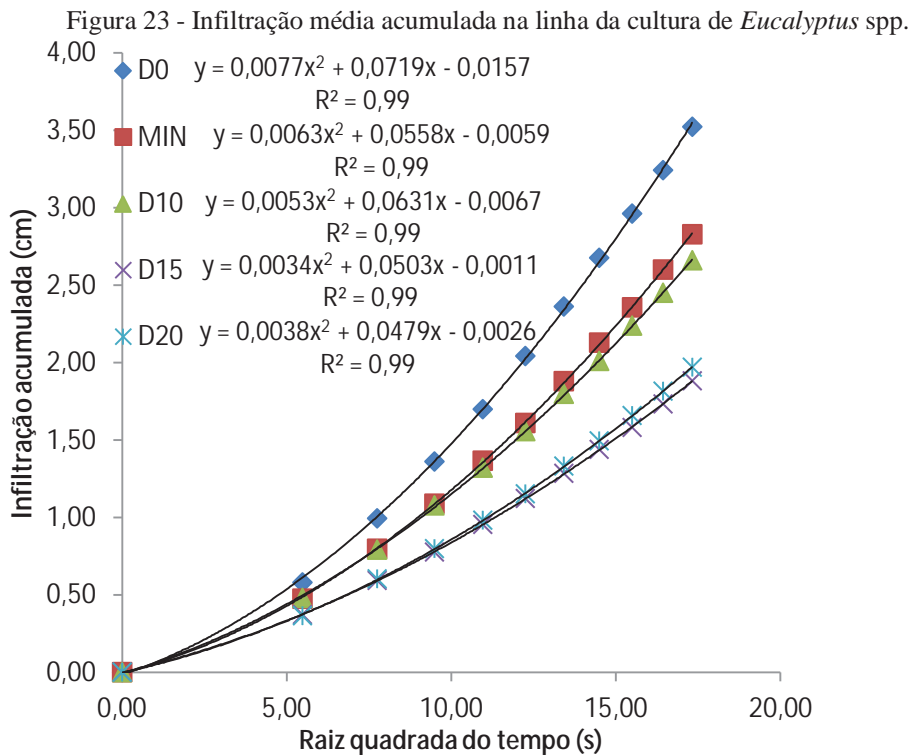
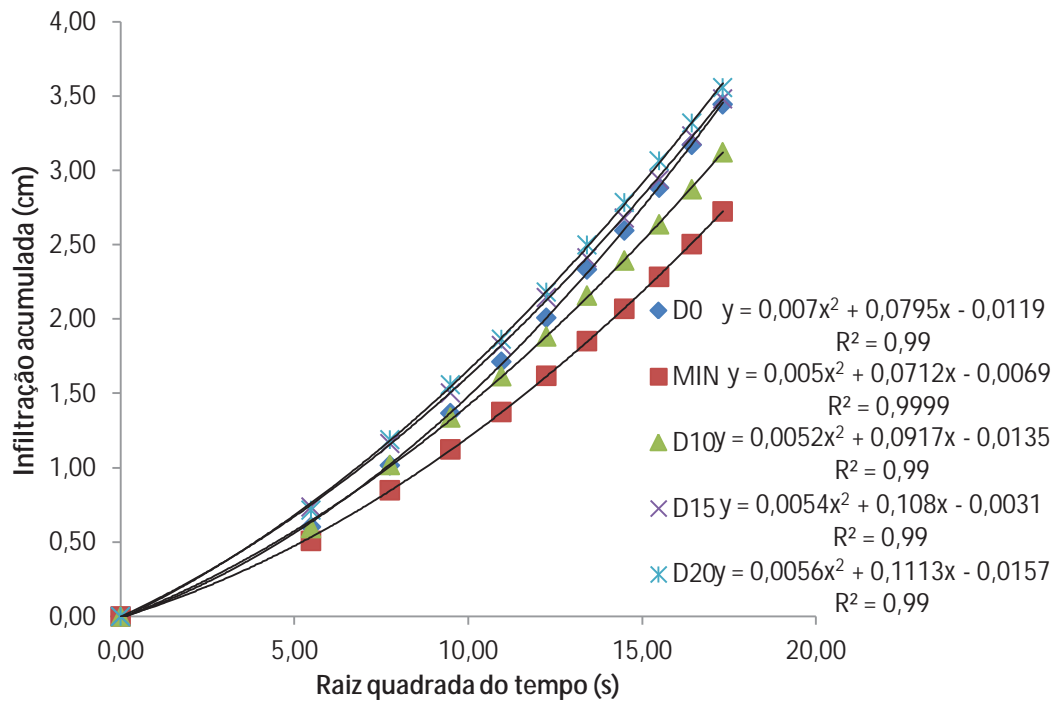


Figura 24 - Infiltração acumulada na entrelinha da cultura de *Eucalyptus* spp.



Nas análises estatísticas referentes à taxa constante de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, para a espécie *M. fistulifera*, não foram verificadas diferenças significativas (Tabela 14). A comparação entre os tratamentos, local de realização do testes (linha x entrelinha) e interação entre tratamentos e local não foi significativa. A utilização de diferentes doses de resíduo celulósico comparado com adubação mineral e sem nenhuma forma de adubação apresentaram valores próximos, tanto para amostragens realizadas na linha como na entrelinha não diferindo estatisticamente (Figuras 25 e 26).

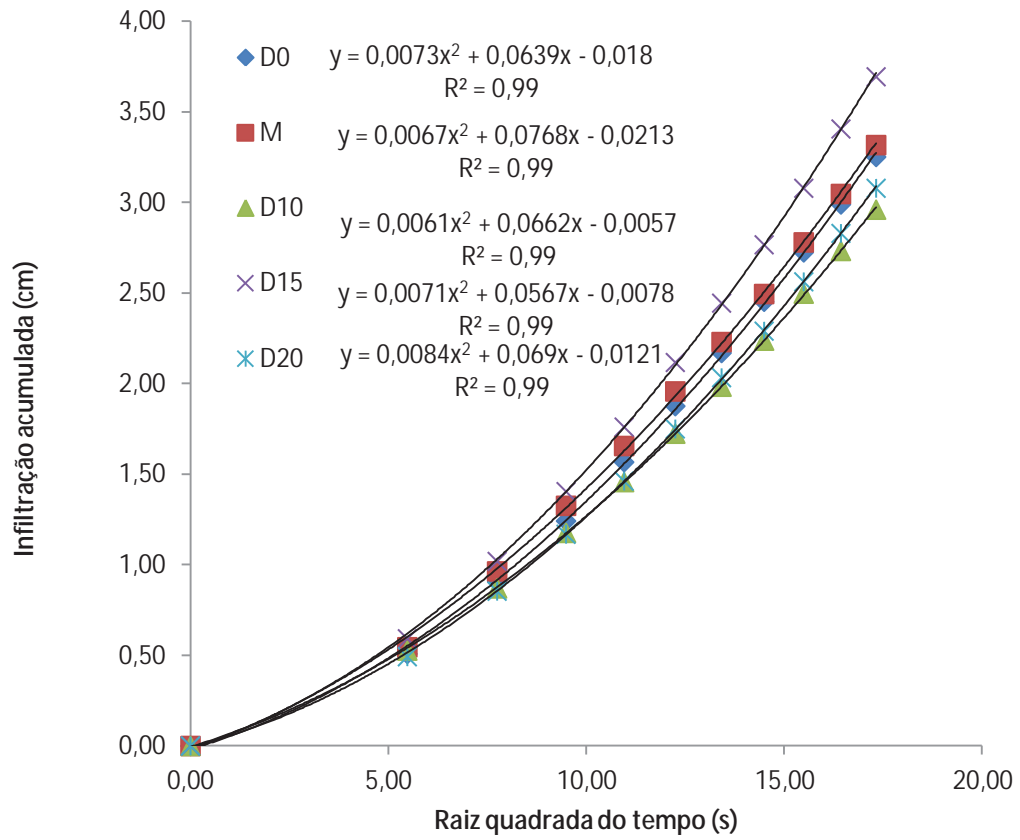
Tabela 14 - Taxa constante de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, testes na linha x entrelinha, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração - Infiltração acumulada	
	(cm h ⁻¹)	(cm)
Controle (D0)	28,14	39,26
Ad.Min.(M)	29,24	39,21
10 t ha ⁻¹ (D10)	24,21	31,73
15 t ha ⁻¹ (D15)	30,03	37,92
20 t ha ⁻¹ (D20)	27,83	35,50
Linha	29,24	39,13
Entrelinha	26,54	34,32
Contrastes	F	
C1	0,01	0,42
C2	0,36	0,68
Regressão	F	
Linear	0,06	0,26
Quadrática	0,46	0,72
	F	
Tratamentos	0,68	0,53
Local (linha x entrelinha)	1,24	1,52
Trat x Local	0,32	0,38
CV (%)	27,58	33,56

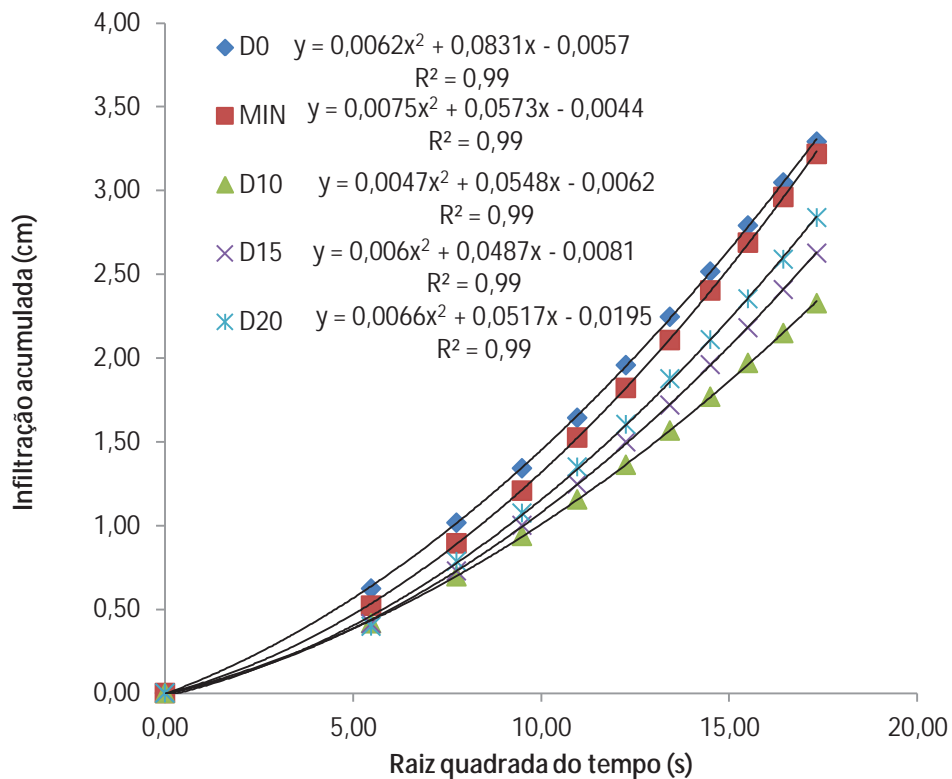
Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 25 - Infiltração média acumulada na linha da cultura de *M. fistulifera*



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 26 - Infiltração acumulada na entrelinha da espécie *M. fistulifera*.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.1.4 Resistência do solo à penetração

Na análise de resistência do solo à penetração para o tratamento com a cultura do *Eucalyptus* spp. não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, contrastes de interesse e regressão entre as doses de resíduo celulósico (Tabela 15). Observou-se a elevação da resistência do solo à penetração à medida que se aumentou a profundidade, onde a partir dos 0,20 m de profundidade, todos os tratamentos assumiram valores acima de 2 MPa (Figura 27), considerado por alguns autores, limitante ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas e indicador de que o solo está compactado.

De acordo com Embrapa (2005), tem sido considerados como limitantes ao crescimento radicular os valores de 2,0 MPa para culturas anuais; 2,5 MPa para pastagens e 3 MPa para espécies arbóreas, sendo esses valores tomados apenas como referência, uma vez que podem variar em função das culturas, variedades, densidade e umidade do solo.

Tabela 15 - Resistência do solo à penetração (MPa), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie *Eucalyptus* spp, município de Selvíria, MS. 2011.

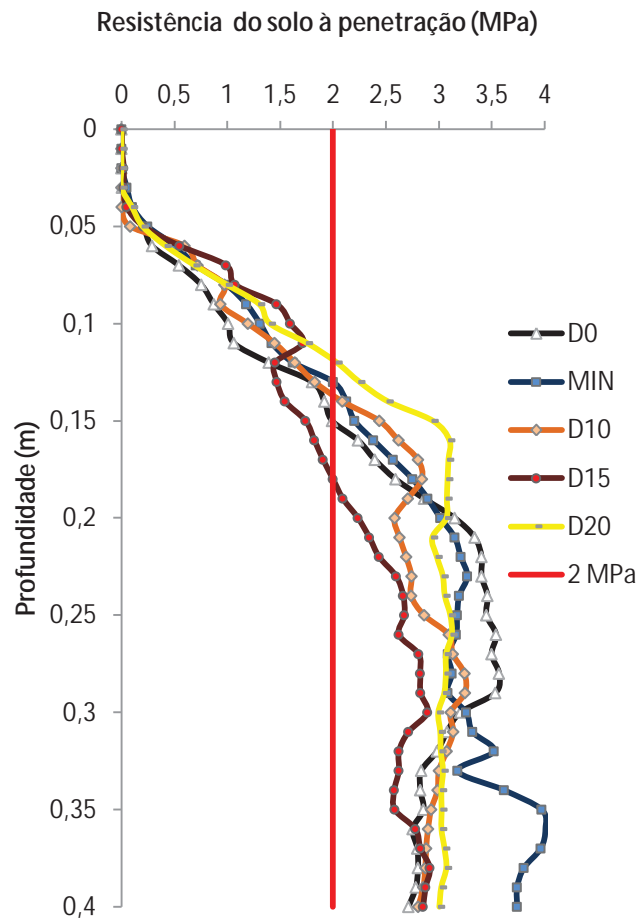
Tratamentos	Camada de solo (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	(MPa)			
D0	0,04	0,62	2,04	3,14
MIN	0,06	0,82	2,21	3,41
D10	0,02	0,75	2,20	2,93
D15	0,05	0,98	1,78	2,68
D20	0,05	0,84	2,58	3,04
Contrastes	F			
C1	0,00	1,23	0,32	0,19
C2	1,50	0,02	0,02	3,30
Regressão	F			
Linear	0,20	1,15	0,73	0,41
Quadrática	1,80	0,15	0,85	0,81
CV(%)	3,34	15,82	10,86	7,06

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando os resultados de umidade do solo, determinada no momento dos testes de resistência do solo à penetração, nota-se que estas variaram entre 0,14 e 0,18 kg kg⁻¹ (Figura 28). Considerando que a microporosidade indica o quanto dos poros são responsáveis por reter a água e no caso desse experimento, para a cultura do eucalipto, assumindo o valor médio de 0,27 m³ m⁻³ (Tabela 4) e de densidade de 1,47 kg dm⁻³ (Tabela 5), obtêm-se a umidade volumétrica entre 0,21 a 0,27 m³ m⁻³, que indica que o solo estava úmido no momento dos testes, ou seja, próximo da capacidade de campo.

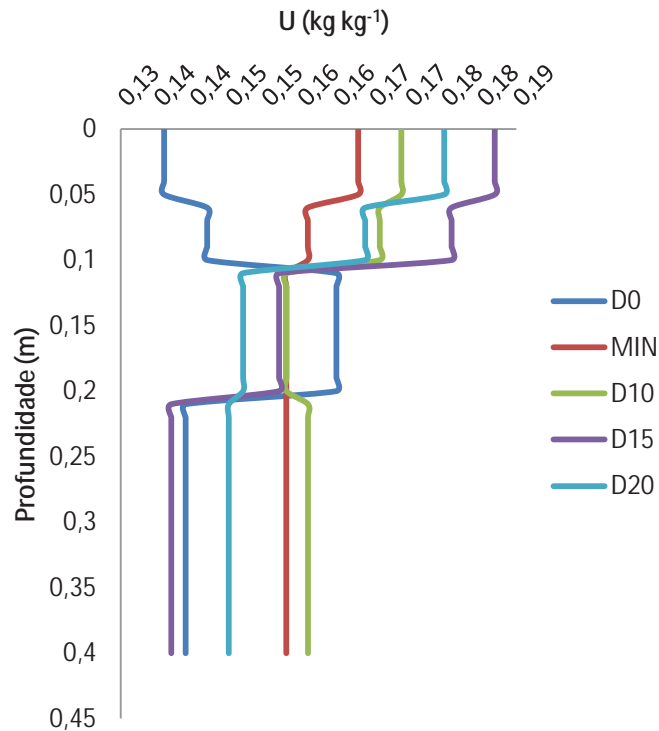
Figura 27 - Resistência do solo à penetração para os tratamentos até a camada de solo de 0, 40 m, para a espécie *Eucalyptus* spp.



Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando os resultados de resistência do solo à penetração referente aos tratamentos com a espécie *M. fistulifera*, foram constatadas diferenças estatísticas (Tabela 16). Na camada de 0,5-0,10 m não foram verificadas diferenças na comparação entre tratamentos e nos contrastes, porém na análise de regressão entre as doses do resíduo, obteve-se um comportamento quadrático ($R^2 = 0,99$). Na comparação entre tratamentos na camada de 0,10-0,20 m, D15 deferiu de D20, indicando estar mais compactado e não deferindo dos demais. Na análise de tendências, as doses apresentaram comportamento quadrático significativo ($R^2 = 0,76$).

Figura 28 - Umidade do solo a base de massa para os tratamentos, nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.



Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando os tratamentos ao longo das camadas de solo (Figura 29), observa-se comportamento semelhante ao estudo com a cultura do eucalipto, de modo que a partir de 0,20 m todos os tratamentos ultrapassaram 2 MPa, indicando possível compactação desse solo em subsuperfície, podendo estar associado ao manejo e preparos de solo anteriores, onde cultivos consecutivos na mesma profundidade podem ter proporcionado a formação do chamado “pé de grade”.

Analisando os resultados de umidade do solo determinada no momento dos testes de resistência do solo à penetração, obteve-se que estas variaram entre 0,15 a 0,17 kg kg⁻¹ (Figura 30), considerando que a microporosidade indica o quanto dos poros são responsáveis por reter a água e no caso desse experimento, para a cultura *M. fistulifera*, assumindo o valor médio de 0,23 m³m³ (Tabela 6) e de densidade de 1,46 kg dm⁻³ (Tabela 7), obtem-se pela multiplicação da umidade a base de massa pela densidade a umidade volumétrica, que variou entre 0,22 a 0,24 m³ m⁻³, indicando que o solo estava úmido no momento dos testes, próximo da capacidade de campo.

Tabela 16 - Resistência do solo à penetração (MPa), teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV) para a espécie *M. fistulifera*, Selvíria, MS. 2011.

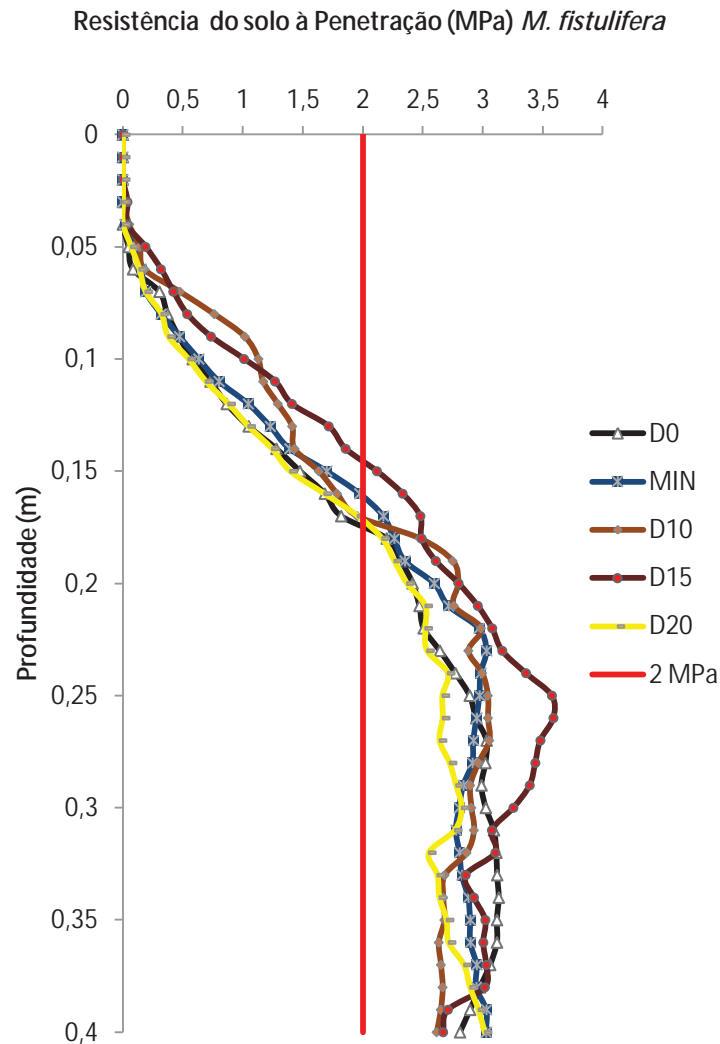
Tratamentos	Camada de solo (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	(MPa)			
D0	0,01	0,31	1,49 ab	2,91
MIN	0,02	0,31	1,65 ab	2,89
D10	0,04	0,62	1,81 ab	2,83
D15	0,04	0,54	2,01 a	3,12
D20	0,01	0,28	1,48 b	2,70
Contrastes	F			
C1	1,54	1,02	3,63	0,02
C2	0,35	1,46	0,60	0,01
Regressão	F			
Linear	0,39	0,02	0,48	0,04
Quadrática	2,86	5,41 ^{*(1)}	8,59 ^{*(2)}	0,12
CV(%)	2,73	12,78	5,26	7,49

Médias seguidas de letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); *, **: significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

⁽¹⁾ $y = -0,0033x^2 + 0,0641x + 0,3093$ $R^2 = 0,99$; ⁽²⁾ $y = -0,0043x^2 + 0,0884x + 1,4716$ $R^2 = 0,76$.

Fonte: Produção do próprio autor.

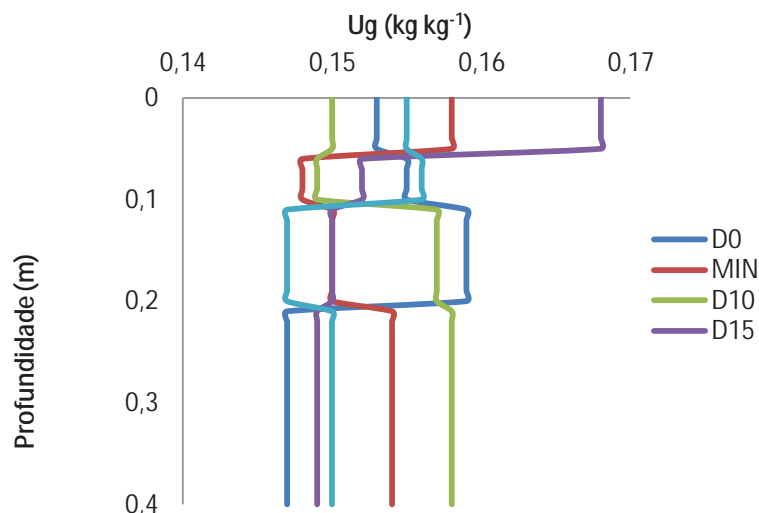
Figura 29 - Resistência do solo à penetração dos tratamentos até a camada de solo de 0,40 m para a espécie *M. fistulifera*.



Fonte: Produção do próprio autor.

De maneira geral os atributos físicos do solo foram pouco influenciados pelo resíduo celulósico. Os efeitos foram limitados à camada superficial do solo (0-0,05 m), e possivelmente relacionado ao elemento sódio, onde de acordo com Raij (1991), a alta concentração de sódio pode provocar a dispersão de argila e, conseqüentemente, promover alterações severas na densidade e porosidade do solo, prejudicando assim sua capacidade de retenção de água. Provavelmente, a presença de cálcio em grande quantidade no resíduo tenha reduzido o efeito do sódio nesses atributos do solo (TRIGUEIRO, 2006).

Figura 30 - Umidade do solo a base de massa para os tratamentos, nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.



4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Não foram verificadas diferenças significativas para todos os atributos químicos estudados na camada de solo de 0,0-0,05 m para a espécie *Eucalyptus* spp. (Tabela 17), quando analisados os contrastes entre grupos de tratamentos. Isso indica que, em média, os tratamentos com resíduo celulósico mais adubação mineral não diferiram do controle (C1) e, a adubação mineral não diferiu da média dos tratamentos com resíduo (C2). Também não foi verificada significância entre as doses de resíduo celulósico.

Na camada de solo de 0,0-0,05 m (Tabela 17), o pH variou de 5,6 a 6,2, sendo a acidez do solo considerada baixa (5,6-6,0) e muito baixa ($> 6,0$) segundo Raij et al. (1997). Os teores de cálcio e magnésio foram considerados altos ($\text{Ca} > 7,0 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $\text{Mg} > 8,0 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e a saturação por bases de média à alta (média entre 51-70% e alta 71-90%). Como os tratamentos não diferiram entre si, atribuem-se tais valores devido à aplicação e incorporação superficial de $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico antes da implantação do experimento.

Os teores de fósforo e potássio à nível de plantio florestal, são considerados baixos (3-5 mg dm^{-3} para o P e 0,8-1,5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o K) segundo Raij et al. (1997) e nota-se diminuição do teor de MO em comparação ao da análise do solo realizada antes da implantação do experimento e preparo de solo (Tabela 17), sendo que na época, o solo era ocupado com pastagem.

Diferenças significativas foram constatadas na camada de solo de 0,05-0,10 m (Tabela 17) para os teores de Ca, Mg, SB e CTC. Para o cálcio, na análise de contrastes, os tratamentos que receberam adubação (M, D10, D15 e D20) diferiram do controle (C1), sendo superiores, em média, a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em C2, que confrontou adubação mineral com as doses do resíduo celulósico, não houve diferença estatística. O comportamento entre as doses do resíduo apresentou um modelo quadrático, sendo o teor máximo obtido com a dose de 11 t ha^{-1} (Tabela 17).

Observou-se que o teor de magnésio na dose de 10 t ha^{-1} do resíduo foi superior ao encontrado na adubação mineral e no tratamento controle (Tabela 17). Notou-se em C1 que as médias entre adubação orgânica e mineral foram superiores ao controle em $3,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e em C2 não foram verificadas diferenças entre as médias das doses do resíduo e adubação mineral. Na análise de regressão entre as doses, observa-se um comportamento quadrático, obtendo o teor máximo com a dose de 11 t ha^{-1} .

Comportamento semelhante ao do Ca e Mg foram observados para a SB (Ca+Mg+K) e CTC (Ca + Mg + K + (H+Al)), onde a dose de 10 t ha^{-1} diferiu da adubação mineral e controle (Tabela 17). O grupo formado pelas diferentes formas de adubação se difere do controle (C1), superiores em $7,26 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a SB e $6,86 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a CTC. Não foi verificada diferença entre as médias das doses do resíduo e adubação mineral. Os maiores valores para SB e CTC são estimados via equação de segundo grau com a dose aproximada de 11 t ha^{-1} . Concordando com estudos feitos por Guerrini e Moro (1994), onde a aplicação de resíduo celulósico e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, proporcionou aumentos significativos nos teores de fósforo, cálcio, magnésio, CTC e saturação por bases (V%) no solo. De maneira semelhante, a aplicação de resíduo celulósico após o corte raso de um plantio comercial de *Eucalyptus grandis* com 12 anos de idade, em Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e com baixa fertilidade alteraram a sua fertilidade aumentando o pH e o teor de Ca+Mg, reduzindo o teor de H+Al e tendo pequeno efeito sobre os teores de K e P (DEDECEK et al., 2007).

Na camada de 0,05-0,10 m, o resíduo aumentou os teores e a saturação por bases e CTC e diminuiu os teores e a saturação por Al (Tabela 17), resultados coerentes aos encontrados por Albuquerque et al. (2002), pois em seu trabalho a adição de resíduo alcalino da indústria de celulose (dregs) aumentou o pH e os teores de sódio, potássio e cálcio e reduziu os teores de alumínio na camada de 0-0,05 m avaliados em um Latossolo e Cambissolo.

Tabela 17 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie *Eucalyptus* spp., município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³							
0-0,05 m											
Controle (D0)	4,00	16	5,8	0,85	18,75	14,75	15,00	0,00	34,35	49,35	69,16
Ad.Min.(M)	4,50	16	5,8	0,85	20,25	15,25	14,50	0,00	36,35	50,85	71,24
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,75	15	5,8	0,70	23,00	18,75	13,50	0,25	42,45	55,95	75,26
15 t ha ⁻¹ (D15)	4,75	15	5,6	0,78	21,50	14,31	16,25	0,50	36,59	52,84	69,40
20 t ha ⁻¹ (D20)	4,50	16	6,2	0,98	26,50	20,00	13,00	0,00	47,48	60,48	78,16
Contrastes						F					
C1	0,43	0,08	0,01	0,02	3,07	1,10	0,20	0,44	2,34	1,86	1,59
C2	0,16	1,52	0,20	0,08	1,83	1,00	0,04	0,73	1,66	1,59	0,67
Regressão						F					
Linear	0,90	0,12	0,88	0,82	4,86	1,53	0,33	0,05	3,66	2,70	2,67
Quadrática	0,31	1,26	2,77	3,15	0,05	0,09	0,2	1,68	0,10	0,05	0,10
CV (%)	9,47	4,51	2,72	7,06	9,52	11,29	8,75	30,29	9,45	6,75	4,39
0,05-0,10 m											
Controle (D0)	3,75	15	5,1	0,85	9,00 b	6,50 b	18,00	1,00	16,35 b	34,35 b	47,12
Ad.Min.(M)	4,00	15	5,2	0,75	10,75ab	7,75 b	19,00	1,00	19,25 b	38,25 b	49,82
10 t ha ⁻¹ (D10)	4,25	14	5,7	0,68	17,50a	14,00a	16,00	0,00	32,18 a	48,18 a	66,40
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,50	13	5,3	0,60	11,50ab	8,75ab	17,00	0,75	20,85ab	37,85 b	55,02
20 t ha ⁻¹ (D20)	4,00	15	5,4	0,80	12,50ab	9,50ab	17,75	0,25	22,18ab	40,55ab	55,90
Contrastes						F					
C1	0,42	1,87	2,69	1,16	6,38*	8,03*	0,12	0,74	7,49*	9,38**	4,15
C2	0,06	0,32	1,64	0,08	3,33	4,49	1,60	1,46	4,14	2,63	3,37
Regressão						F					
Linear	0,02 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2,73 ^{ns}	2,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,64 ^{ns}	2,57 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Quadrática	0,14 ^{ns}	4,15 ^{ns}	3,28 ^{ns}	2,5 ^{ns}	8,87 ⁽¹⁾	8,57 ⁽²⁾	0,96 ^{ns}	0,21 ^{ns}	9,19 ⁽³⁾	8,40 ⁽⁴⁾	4,90 ^{ns}
CV (%)	5,23	4,78	2,87	7,95	11,76	11,94	7,92	32,16	11,18	5,01	8,04

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ^{ns}, *, **: não-significativos, significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F. ⁽¹⁾ $y = -0,0486x^2 + 1,0723x + 9,3773$, $R^2 = 0,59$; ⁽²⁾ $y = -0,0436x^2 + 0,9573x + 6,8273$, $R^2 = 0,60$; ⁽³⁾ $y = -0,0944x^2 + 2,0403x + 17,045$, $R^2 = 0,60$; ⁽⁴⁾ $y = -0,0739x^2 + 1,6533x + 35,019$, $R^2 = 0,52$. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Não foram verificadas diferenças entre grupos de tratamentos e entre as doses do resíduo nas camadas de solo de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 18). Tais resultados corroboram com os de Bellote et al. (1998), onde o efeito dos resíduos celulósicos no solo foram mais pronunciados nos primeiros 0,10 m de profundidade, sendo que alterações foram observadas, principalmente na acidez e nas bases trocáveis, K, Ca do solo, com consequência direta na saturação por bases do solo (V%). Ainda conforme esses autores, a aplicação de

resíduo celulósico e cinza aumenta a fertilidade do solo, reduz a concentração de alumínio e aumenta o conteúdo de matéria orgânica, o que favorece o desenvolvimento da microbiologia do solo. Estes fatores afetam diretamente a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade dos nutrientes às plantas.

Nota-se que com o aumento da profundidade ocorre diminuição dos teores de P, K, MO, pH, Ca, Mg, SB, CTC e V% e aumento nos teores de Al e H+Al. Os baixos teores de alguns nutrientes no solo podem ser reflexos da baixa concentração desses elementos no resíduo celulósico, entretanto, como o resíduo foi aplicado somente no plantio, é possível que parte dos elementos adicionados ao solo tenham se indisponibilizado, perdidos (via lixiviação ou volatilização) ou absorvidos pelas plantas, proporcionando um melhor desenvolvimento.

Em trabalho semelhante, Rodrigues (2004) aplicou doses crescentes de resíduo celulósico (0, 20, 40, 80, 100 t ha⁻¹) em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, sob o cultivo de *Pinus taeda* L. no espaçamento de 3 x 2m. Verificou que o resíduo celulósico proporcionou, no solo, aumentos nos níveis de matéria orgânica, bases trocáveis (Ca, Mg e K), saturação por bases e capacidade de troca catiônica até a profundidade máxima estudada de 0,30 m. Melhores resultados foram alcançados com a dose de 80 t ha⁻¹ e foram determinados baixos níveis de N, P e MO em todas as profundidades e tratamentos estudados devido ao fato de ter sido aplicado em dose única e avaliado aos 7 anos após sua aplicação.

De maneira análoga ao encontrado nesse trabalho, Fortes Neto et al. (2009), não verificaram efeitos significativos dos tratamentos com resíduos celulósicos aplicados superficialmente no solo após plantio de eucalipto sobre os elementos químicos no solo. Os autores alegaram que o resultado foi condicionado pela permanência do composto sobre a serrapilheira do solo, praticamente sem contato com a biota edáfica responsável pela sua degradação e que nestas condições, os elementos químicos são liberados lentamente na serrapilheira e são absorvidos pelas raízes do eucalipto retardando, assim, a sua disponibilidade no solo.

Tabela 18 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie *Eucalyptus* spp., município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³							
0,10-0,20 m											
Controle (D0)	3,00	14	4,95	1,55	8,50	5,50	22,00	1,25	15,55	37,55	41,52
Ad.Min.(M)	4,00	12	4,95	1,15	8,25	4,50	20,00	1,00	13,90	33,90	40,98
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,75	13	5,05	1,38	6,81	4,50	20,50	0,75	12,69	33,19	38,16
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,75	15	5,20	1,15	9,66	6,38	19,50	0,50	17,16	36,66	47,16
20 t ha ⁻¹ (D20)	4,00	13	4,88	1,25	6,88	4,25	20,00	1,50	12,32	32,32	37,66
Contrastes						F					
C1	1,68	0,42	0,09	3,81	0,27	1,53	1,49	0,47	1,13	2,73	0,05
C2	0,07	4,00	0,17	0,15	0,20	0,86	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Regressão						F					
Linear	1,53	0,00	0,00	4,09	0,20	1,19	1,36	0,00	0,85	1,91	0,07
Quadrática	0,06	0,02	0,92	0,40	0,03	0,55	0,24	2,40	0,12	0,00	0,32
CV (%)	13,67	6,13	3,31	8,36	12,37	8,37	6,72	29,50	9,16	5,21	7,20
0,20-0,40 m											
Controle (D0)	3,00	11	4,82	1,30	5,75	3,00	19,75	1,50	10,28	30,02	34,24
Ad.Min.(M)	3,00	9	4,92	1,22	6,00	3,00	19,00	1,25	10,22	29,22	34,92
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,00	10	5,22	1,20	6,94	3,00	16,50	0,75	11,14	27,64	40,24
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,44	12	5,12	1,00	8,06	3,94	17,75	1,50	13,00	30,75	41,76
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,00	11	4,88	0,85	6,50	2,50	18,75	1,00	9,80	28,60	34,16
Contrastes						F					
C1	0,25	0,53	0,68	3,64	0,91	0,00	1,43	0,68	0,17	0,54	0,49
C2	0,42	5,93*	0,30	0,86	0,68	0,02	0,89	0,16	0,33	0,04	0,50
Regressão						F					
Linear	0,26	0,20	0,08	4,40	0,58	0,07	0,31	0,35	0,02	0,11	0,06
Quadrática	0,42	0,25	1,57	0,00	0,69	1,05	2,55	0,18	0,96	0,14	1,66
CV (%)	4,97	6,31	4,09	12,59	15,34	13,70	6,93	31,79	12,43	3,83	10,98

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ^{ns}, *, **: não-significativos, significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Diferenças significativas foram encontradas na análise química do solo para a espécie *M. fistulifera* (Tabela 19). De maneira semelhante ao encontrado para o eucalipto, os teores de fósforo e potássio são considerados baixos e não diferem entre os tratamentos, sofrendo gradual decréscimo em profundidade. Nota-se uma tendência não significativa de acréscimo no teor de P com o aumento das doses do resíduo até a camada de 0,20 m.

Em relação ao teor de matéria orgânica, foram verificadas diferenças significativas (Tabela 19). Na camada de 0-0,05, C2 indicou que as doses do resíduo celulósico foram superiores em 3 g dm^{-3} em relação à adubação mineral. Na camada de 0,05-0,10 m C1 foi significativo a favor do controle em comparação aos diversos tipos de adubação e em C2, a adubação com resíduo, em média, foi superior ao uso de fertilizante mineral. Nota-se um decréscimo no teor de MO em profundidade, onde na camada de 0,20-0,40 m, C2 foi novamente significativo a favor do resíduo celulósico.

Notou-se uma diminuição na quantidade de matéria orgânica do solo em todos os tratamentos em comparação à amostragem de caracterização (Tabela 2). Esse fato, também observado por Guerrini (2003) e Trigueiro (2006), pode ser atribuído à decomposição da matéria orgânica remanescente da pastagem anterior à implantação desse ensaio, influenciada pelo aumento do pH do solo.

Não foram constatadas diferenças no pH do solo entre os tratamentos (Tabelas 19 e 20), sendo que acidez do solo variou de baixa à média na camada superficial de 0,0-0,10 m, sendo a calagem realizada a responsável por tais valores, aplicada em área total antes da implantação do experimento.

Quanto ao cálcio, foram constatadas diferenças significativas (Tabela 19). Na camada de 0,0-0,05 m, não foi constatada significância na comparação entre os tratamentos e contrastes, mas entre as doses de resíduo celulósico nota-se um comportamento linear, proporcionando acréscimos nos níveis de cálcio com o aumento das doses.

Na camada de 0,05-0,10 m a dose de 20 t ha^{-1} diferiu do controle na comparação entre médias (Tabela 19). C1 indicou superioridade de $5,71 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ dos tratamentos com alguma forma de adubação em relação a D0 e entre as doses do resíduo, estas apresentaram uma tendência linear, aumentando os teores de Ca com doses crescentes. Nota-se que os níveis de cálcio diminuem em profundidade e não se diferem entre os tratamentos nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, demonstrando que ação ficou restrita nas camadas mais superficiais do solo (Tabela 20).

Para o magnésio, não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos ao longo das camadas de solo avaliadas, onde os teores considerados elevados se observam nas camadas superficiais devido à aplicação e incorporação do calcário dolomítico e não ao efeito da aplicação dos tratamentos (Tabelas 19 e 20).

Os teores de acidez potencial e Al também não diferiram entre os tratamentos e como era de se esperar, sofreram um pequeno acréscimo em profundidade, à medida que o valor do pH diminuiu (Tabelas 19 e 20).

O aumento no teor de alguns nutrientes catiônicos, principalmente o cálcio trocável, proporcionou a elevação nos níveis da soma de bases (SB), apresentando uma tendência linear de crescimento com o aumento das doses do resíduo celulósico na camada de 0-0,05 m (Tabela 19). De maneira semelhante, na camada de 0,05-0,10 m, a elevação da soma de bases refletiu em aumento na CTC e saturação por bases (V%), podendo ser demonstrado, via equação de primeiro grau, que quando se elevou as doses do resíduo, aumentou a concentração dessas variáveis químicas. Tais efeitos não foram observados nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 20).

De maneira semelhante, em trabalho desenvolvido por Bellote et al. (1994), (Rodrigues, 2004) mostraram que os tratamentos que receberam quantidades mais elevadas de cinza e resíduo celulósico, apresentaram alterações na acidez e redução nos teores de alumínio, o que proporcionou aumento nos teores de potássio, cálcio e magnésio e influenciou o aumento da saturação de bases do solo. De acordo com os mesmos autores, o aumento da capacidade de troca catiônica é um dos benefícios proporcionados ao solo com a aplicação de resíduos da indústria de celulose e papel, de modo que, a adição de matéria orgânica em solos com baixa CTC minimiza as perdas de nutrientes por lixiviação.

Tabela 19 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a espécie *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³							%
0-0,05 m											
Controle (D0)	3,50	16	5,55	1,25	17,50	13,25	16,50	0,25	32,00	48,50	66,18
Ad.Min.(M)	3,56	12	5,62	1,22	20,50	13,50	16,75	0,25	35,22	51,98	67,22
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,44	16	5,50	1,38	19,50	14,50	17,25	0,50	35,38	52,62	66,04
15 t ha ⁻¹ (D15)	4,25	15	5,62	1,30	22,50	15,00	17,00	0,00	38,80	55,80	69,36
20 t ha ⁻¹ (D20)	5,06	15	5,95	1,08	28,00	15,00	14,50	0,00	44,08	58,58	75,03
Contrastes						F					
C1	0,89	1,91	0,20	0,00	2,45	1,05	0,01	0,09	2,46	2,77	0,95
C2	1,04	9,89**	0,07	0,01	0,64	1,19	0,12	0,15	1,01	0,84	0,79
Regressão						F					
Linear	4,02	1,12	1,14	0,56	5,73 ⁽¹⁾	1,82	0,83	0,77	5,66 ⁽²⁾	4,45	4,43
Quadrática	1,55	0,68	0,94	2,06	1,14	0,15	2,23	0,44	0,54	0,05	2,11
CV (%)	11,58	5,52	4,00	8,52	12,81	7,10	6,97	31,97	9,41	6,25	4,13
0,05-0,10 m											
Controle (D0)	3,25	17	5,1	1,5	8,19 b	7,50	20,25	0,75	17,20	37,4	46,04
Ad.Min.(M)	3,5	13	5,3	1,12	12,25 ab 9,31	9,75	18,50	1,00	23,10	41,6	53,6
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,25	14	5,05	1,42	ab	6,25	19,50	0,50	17,10	36,6	46,6
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,81	16	5,38	1,02	14,56 ab	9,50	19,00	0,75	25,10	44,1	55,52
20 t ha ⁻¹ (D20)	5,00	15	5,62	1,15	19,50 a	9,25	17,00	0,00	29,70	46,7	62,27
Contrastes						F					
C1	0,59	5,18*	0,53	4,08	5,55*	0,26	1,06	0,36	2,51	2,51	2,01
C2	0,33	5,02*	0,03	0,11	0,74	0,65	0	2,2	0,05	0,08	0,05
Regressão						F					
Linear	2,13	1,00	2,17	5,07	16,18 ⁽³⁾	1,04	2,06	2,1	8,55 ⁽⁴⁾	8,43 ⁽⁵⁾	6,57 ⁽⁶⁾
Quadrática	0,87	0,98	0,85	0,00	2,45	0,99	0,33	0,7	2,09	2,01	1,69
CV (%)	15,17	6,49	4,89	7,65	16,64	16,91	8,2	29,65	15,4	6,43	9,54

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ^{ns}, *, **: não-significativos, significativos a 5 % ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F. ⁽¹⁾ $y = 0,4943x + 16,314$ $R^2 = 0,85$; ⁽²⁾ $y = 0,5805x + 31,035$ $R^2 = 0,92$; ⁽³⁾ $y = 0,5552x + 6,644$ $R^2 = 0,83$; ⁽⁴⁾ $y = 0,6361x + 15,124$ $R^2 = 0,77$; ⁽⁵⁾ $y = 0,489x + 35,717$ $R^2 = 0,71$; ⁽⁶⁾ $y = 0,8085x + 43,512$ $R^2 = 0,79$. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 20 - Valores médios dos atributos químicos do solo, teste F para contrastes, análise de regressão entre as doses do resíduo celulósico e coeficiente de variação (CV), nas camadas de solo de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para a espécie *M. fistulifera*, município de Selvíria, MS. 2011.

Tratamentos	P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³							
0,10-0,20 m											
Controle (D0)	3,00	14	4,95	1,55	8,50	5,50	22,00	1,25	15,55	37,55	41,52
Ad.Min.(M)	4,00	12	4,95	1,15	8,25	4,50	20,00	1,00	13,90	33,90	40,98
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,75	13	5,05	1,38	6,81	4,50	20,50	0,75	12,69	33,19	38,16
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,75	15	5,20	1,15	9,66	6,38	19,50	0,50	17,16	36,66	47,16
20 t ha ⁻¹ (D20)	4,00	13	4,88	1,25	6,88	4,25	20,00	1,50	12,32	32,32	37,66
Contrastes						F					
C1	1,68	0,42	0,09	3,81	0,27	1,53	1,49	0,47	1,13	2,73	0,05
C2	0,07	4,00	0,17	0,15	0,20	0,86	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Regressão						F					
Linear	1,53	0,00	0,00	4,09	0,20	1,19	1,36	0,00	0,85	1,91	0,07
Quadrática	0,06	0,02	0,92	0,40	0,03	0,55	0,24	2,40	0,12	0,00	0,32
CV (%)	13,67	6,13	3,31	8,36	12,37	8,37	6,72	29,50	9,16	5,21	7,20
0,20-0,40 m											
Controle (D0)	3,00	11	4,82	1,30	5,75	3,00	19,75	1,50	10,30	30,00	34,24
Ad.Min.(M)	3,00	9	4,92	1,22	6,00	3,00	19,00	1,25	10,20	29,20	34,92
10 t ha ⁻¹ (D10)	3,00	10	5,22	1,20	6,94	3,00	16,50	0,75	11,10	27,60	40,24
15 t ha ⁻¹ (D15)	3,44	12	5,12	1,00	8,06	3,94	17,75	1,50	13,00	30,80	41,76
20 t ha ⁻¹ (D20)	3,00	10	4,88	0,85	6,5	2,50	18,75	1,00	9,80	28,60	34,16
Contrastes						F					
C1	0,25	0,53	0,68	3,64	0,91	0,00	1,43	0,68	0,17	0,54	0,49
C2	0,42	5,93*	0,3	0,86	0,68	0,02	0,89	0,16	0,33	0,04	0,50
Regressão						F					
Linear	0,26	0,20	0,08	4,4	0,58	0,07	0,31	0,35	0,02	0,11	0,06
Quadrática	0,42	0,25	1,57	0,00	0,69	1,05	2,55	0,18	0,96	0,14	1,66
CV (%)	4,97	6,31	4,09	12,59	15,34	13,7	6,93	31,79	12,4	3,83	10,98

Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ^{ns}, *, **: não-significativos, significativos a 5 % (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F. Dados transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.3 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

Diferenças significativas foram observadas para a espécie *Eucalyptus* spp., para a altura média de plantas, diâmetro a superfície do solo (DSS) e diâmetro médio de copa (DMC) ao longo das avaliações (Tabelas 21, 22 e 23), bem como no diâmetro à altura do peito (DAP), volume estimado por hectare e incremento médio anual (IMA), determinados aos 21 meses após o plantio (Tabela 24).

Na primeira avaliação realizada aos três meses após a instalação do experimento, diferenças significativas foram constatadas para a altura de plantas (Tabela 21). Não foi verificado diferença entre as médias dos tratamentos comparadas entre si, porém no contraste entre os tratamentos que receberam algum tipo de adubação e o que não recebeu (C1), obteve-se superioridade de 0,32 m a favor da adubação. Na comparação entre adubação mineral e resíduo celulósico (C2), a adubação mineral foi superior em 0,10 m. Na análise de regressão entre as doses de resíduo, observou-se um comportamento quadrático, sendo que o máximo crescimento em altura seria obtido com a dose de 16,90 t ha⁻¹ (Figura 31).

Aos seis meses todas as formas de adubação diferiram do controle e não diferiram entre si (Tabela 21). O mesmo comportamento se verificou em C1. No C2 a adubação mineral foi superior aos tratamentos com resíduos ($P < 0,05$), em 0,09 m. Obteve-se uma equação de segundo grau entre as doses, sendo o máximo crescimento em altura alcançado com a dose de 18 t ha⁻¹ (Figura 31).

Na avaliação realizada aos 9, 12 e 15 meses, todas as fontes de adubação foram superiores ao controle e não diferiram entre si (Tabela 21). O mesmo comportamento foi observado em C1, já em C2, entre adubação mineral e a adubação com resíduo celulósico não houve diferença. Entre as doses, o máximo incremento em altura aos nove meses seria obtido com doses superiores as testadas no experimento. Doses de 17,60 t ha⁻¹ para os 12 meses e 15,90 t ha⁻¹ para os 15 meses proporcionariam máximo crescimento nesses períodos (Figura 31).

Aos 18 meses a dose de 15 t ha⁻¹ foi superior a dose de 10 t ha⁻¹ e ambas superiores ao controle e iguais estatisticamente aos demais tratamentos (Tabela 21). As duas fontes de adubação foram superiores ao controle (C1), de modo que proporcionaram crescimento em altura 2,96 m superior ao controle. Em C2, adubação mineral e com resíduos não se diferiram, demonstrando que os resíduos celulósicos podem vir a complementar ou até mesmo substituir parte da adubação realizada na cultura. Conforme a equação de regressão (Figura 31), a dose de 16,50 t ha⁻¹ proporcionou o máximo crescimento em altura.

De maneira semelhante às avaliações realizadas aos 9, 12 e 15 meses, na avaliação de 21 meses todos os tratamentos com algum tipo de adubação foram superiores ao controle e semelhantes entre si (Tabela 21). Entre as doses de resíduo celulósico testadas observou-se uma tendência quadrática, onde por meio da equação de segundo grau calculada, estima-se que o máximo crescimento em altura seria proporcionado com a dose $16,75 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 31).

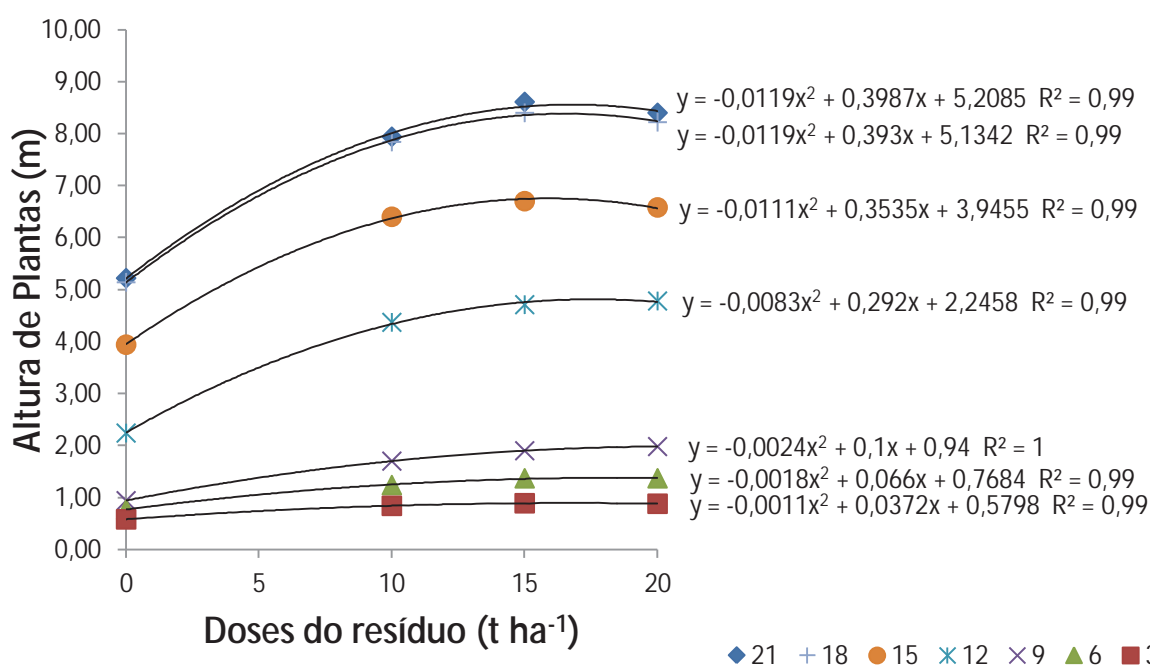
Tabela 21 - Altura média de plantas (m), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *Eucalyptus* spp., Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (meses)						
	3	6	9	12	15	18	21
Controle (D0)	0,58	0,77 b	0,94 b	2,24 b	3,94 b	5,14 c	5,22 b
Ad.Min.(M)	0,97	1,42 a	1,79 a	4,47 a	6,44 a	7,96 ab	8,02 a
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,84	1,24 a	1,70 a	4,37 a	6,40 a	7,84 b	7,94 a
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,89	1,37 a	1,90 a	4,71 a	6,70 a	8,40 ab	8,61 a
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,88	1,37 a	1,98 a	4,78 a	6,58 a	8,22 ab	8,40 a
Contrastes							
C1	321,40 **	260 **	411,20 **	376,86 **	313,44 **	277,90 **	215,41 **
C2	29,21 **	5,78 *	2,13	1,52	0,56	1,06	1,88
Regressão							
Linear	274,40 **	323 **	405,40 **	517,70 **	293,26 **	464,70 **	536,72 **
Quadrática	43,59 **	35,40 **	30,99 **	73,48 **	68,58 **	87,74 **	93,99 **
CV (%)	3,87	5,24	4,82	5,24	4,36	4,23	4,82

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Altura de plantas em m, de *Eucalyptus* spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os resultados obtidos corroboram com o trabalho realizado por Trigueiro (2006), onde o crescimento em altura de eucalipto passou a ser influenciado pelas adubações com resíduos celulósicos a partir do primeiro ano de implantação, onde os tratamentos que receberam algum tipo de adubação apresentaram altura superior aos que não receberam e, no quarto ano, o efeito da adubação mineral foi potencializada pela aplicação de 4 t ha⁻¹ de dregs e grits.

Para o diâmetro do caule na superfície do solo (DSS), mensurados aos três e seis meses, os tratamentos que receberam algum tipo de adubação foram superiores ao controle (C1), apresentando o dobro do DSS (Tabela 22). A adubação mineral apresentou superioridade em relação à média dos tratamentos com resíduos celulósicos (C2). Entre as doses, em ambas as avaliações apresentaram um comportamento quadrático gerando uma equação de segundo grau (Figura 32), onde foi determinado o máximo crescimento em diâmetro com doses de 17,50 t ha⁻¹ para os terceiro mês e 17,80 t ha⁻¹ para os sexto mês.

Na comparação entre as médias dos tratamentos aos nove meses, M, D15 e D20 não se diferem estatisticamente (Tabela 22). Fica evidente em C1 a superioridade dos tratamentos com algum tipo de adubação sobre o não adubado, apresentando estes, em média, um diâmetro 149% maior em relação ao controle. Em C2 não foi verificada diferença entre adubação

mineral e com resíduo celulósico. Na análise de regressão, o máximo crescimento em DSS foi obtido com a dose de 18,10 t ha⁻¹ (Figura 32).

Na avaliação do DSS aos 12 meses (Tabela 22), os tratamentos D15 e D20 foram superiores a D10, semelhantes à adubação mineral e todos os tratamentos foram superiores ao controle (C1). Não foi verificado diferença em C2 e o máximo DSS foi encontrado com a dose de 17,80 t ha⁻¹ (Figura 32). Comportamento semelhante foi encontrado nas avaliações aos 15 e 18 meses, sendo que na comparação entre os tratamentos, D15 não diferiu de D20, e este foi superior aos demais (Tabela 22). Em C1, as médias dos tratamentos que receberam adubação proporcionaram incrementos de 67,5 % e 57 % em relação ao controle, aos 15 e 18 meses, respectivamente. O máximo de crescimento de DSS aos 15 meses foi alcançado com a dose de 17,80 t ha⁻¹ e aos 18 meses com a dose de 17,30 t ha⁻¹ (Figura 32).

Na avaliação realizada aos 21 meses (Tabela 22), os tratamentos que receberam alguma forma de adubação foram superiores ao controle e não diferiram entre si, fato também confirmado em C1 e C2. Na análise isolada entre as doses do resíduo orgânico, esta foi significativa (P<0,01) e melhor ajustada a um modelo quadrático (R²= 0,99), atingindo seu máximo com a dose de 17,35 t ha⁻¹ (Figura 32).

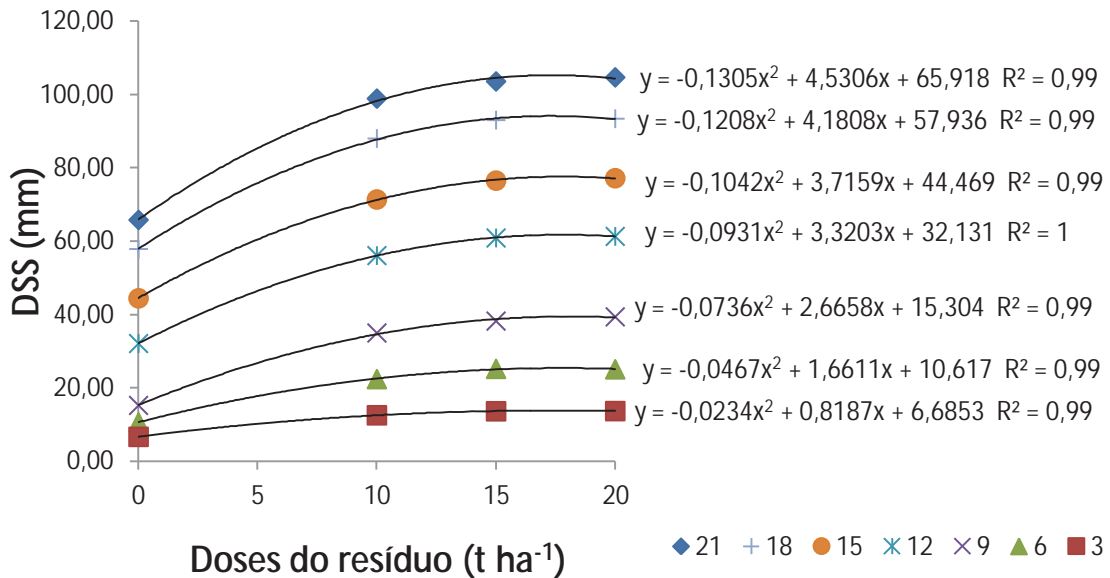
Tabela 22 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *Eucalyptus* spp., Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (Meses)						
	3	6	9	12	15	18	21
Controle (D0)	6,68 b	10,64 b	15,24 c	32,12 c	44,44 d	57,88 d	65,80 b
Ad.Min.(M)	15,46 a	26,24 a	39,43 a	57,34 ab	72,76 bc	89,15 bc	99,18 a
10 t ha ⁻¹ (D10)	12,56 a	22,42 a	34,99 b	56,09 b	71,38 c	88,00 c	98,88 a
15 t ha ⁻¹ (D15)	13,65 a	25,22 a	38,23 ab	60,89 a	76,52 ab	93,02 ab	103,56 a
20 t ha ⁻¹ (D20)	13,70 a	25,10 a	39,39 a	61,32 a	77,18 ab	93,40 ab	104,67 a
Contrastes							
C1	196,20 **	315,85 **	348,99 **	402,44 **	455,6 **	613,7 **	476,96 **
C2	14,94 **	5,97 *	2,27	2,29	2,43	2,85	3,56
Regressão							
Linear	129,1 **	263,74 **	416,68 **	455,29 **	421,5 **	630,3 **	616,72 **
Quadrática	22,86 **	35,61 **	52,12 **	61,12 **	56,53 **	96,44 **	93,19 **
CV (%)	7,42	6,47	6,52	4,46	3,67	2,83	3,10

Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P > 0,05). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 32 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, de *Eucalyptus* spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS, 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para o diâmetro médio da copa (DMC), nas avaliações realizadas a partir dos três meses após o plantio das mudas de eucalipto diferenças significativas foram constatadas (Tabela 23). Na primeira avaliação, a adubação mineral não diferiu das doses D15 e D20 e manteve-se superior à D10 e D0. Em C1 o grupo com algum tipo de adubação cresceu o dobro em relação ao não adubado (D0) e em C2 adubação mineral foi superior à média com resíduo celulósico em 0,10 m. À medida que aumentaram as doses de resíduo celulósico, houve incremento no DMC, sendo o valor máximo alcançado na dose 17,4 t ha¹ (Figura 33).

Obteve-se comportamento semelhante na comparação entre os tratamentos dos seis aos 21 meses (Tabela 23), onde M, D10, D15 e D20 foram superiores a D0 e não diferiram entre si (exceto aos 9 meses, na qual a D10 foi inferior a D15 e D20). Em todas as avaliações C1 foi significativo demonstrando a superioridade dos tratamentos adubados com relação ao controle, sendo essa diferença de 0,44 m; 0,84 m; 0,76 m; 0,54 m; 0,58 m; e 0,84 m aos 6, 9, 12, 15, 18 e 21 meses, respectivamente. Em relação a C2, somente na avaliação de 12 meses a adubação mineral e com resíduos foram consideradas diferentes estatisticamente, sendo que, neste caso, o uso da adubação alternativa foi superior a mineral em 0,08 m. Dos 6 aos 21 meses o comportamento entre as doses se ajustou a um modelo quadrático, onde os DMC máximos foram obtidos com as doses de 16,4 t.ha⁻¹; 17,20 t.ha⁻¹; 16,6 t.ha⁻¹; 13,8 t.ha⁻¹; 16,5 t.ha⁻¹; e 14,10 5 t.ha⁻¹ aos 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses, respectivamente (Figura 33).

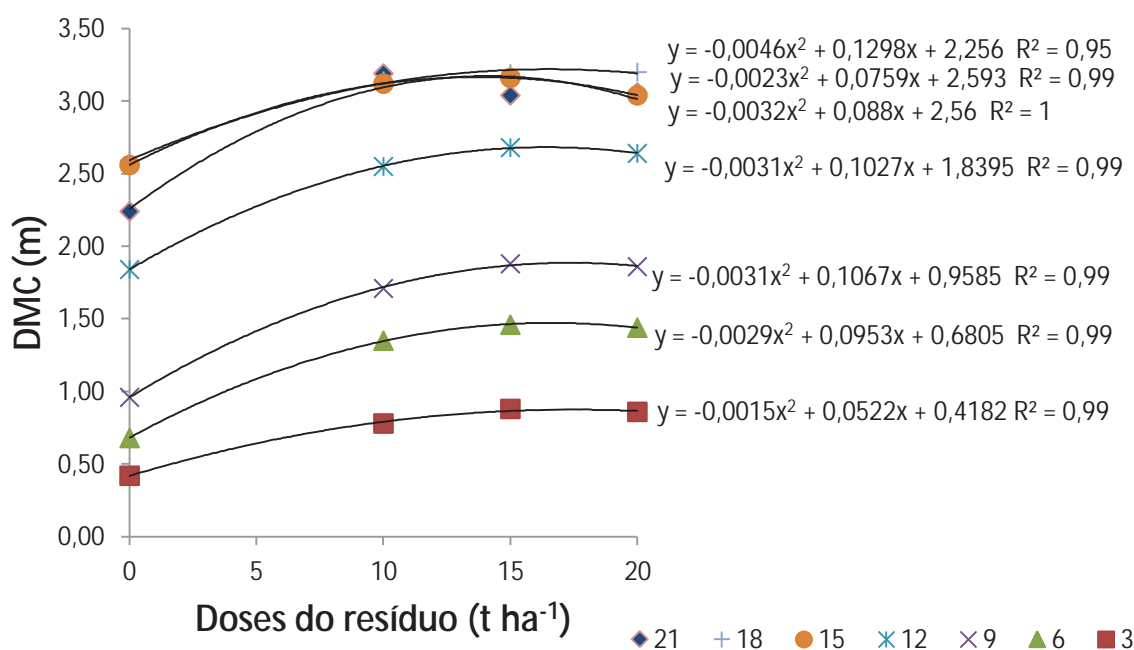
Tabela 23 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *Eucalyptus* spp., Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (Meses)						
	3	6	9	12	15	18	21
Controle (D0)	0,42 c	0,68 b	0,96 c	1,84 b	2,56 b	2,59 b	2,24 b
Ad.Min.(M)	0,94 a	1,44 a	1,76 ab	2,54 a	3,11 a	3,16 a	3,03 a
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,78 b	1,35 a	1,71 b	2,55 a	3,12 a	3,14 a	3,19 a
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,88 ab	1,46 a	1,88 a	2,68 a	3,16 a	3,19 a	3,04 a
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,86 ab	1,44 a	1,86 a	2,64 a	3,04 a	3,20 a	3,06 a
Contrastes							
C1	252 **	219,00 **	657,66 **	337,95 **	255,64 **	224,74 **	55,96 **
C2	12,16 **	0,24	2,22	3,58 **	0,00	0,12	0,33
Regressão							
Linear	200,20 **	210,52 **	641,69 **	257,75 **	195,57 **	164,75 **	30,04 **
Quadrática	28,29 **	37,01 **	97,30 **	48,95 **	102,55 **	29,20 **	13,47 **
CV (%)	6,47	7,03	3,62	3,05	2,18	2,27	6,85

Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 33 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, de *Eucalyptus* spp. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Notou-se a estabilização do DMC a partir dos 15 meses nos tratamentos que receberam adubações com resíduo como mineral, sendo que devido o espaçamento de plantio, as copas das árvores se encontraram. Observou-se também que com o fechamento da copa, diminuiu a incidência de luz e com ela a infestação de plantas daninhas, permanecendo presentes em D0.

No diâmetro a altura do peito (DAP) mensurado aos 21 meses para a espécie *Eucalyptus* spp. os tratamentos que receberam algum tipo de adubação diferiram do controle e não diferiram entre si (Tabela 24). Observou-se em C1 que o grupo com adubação foi superior ao controle em 3,47 cm, ou seja, 81% de incremento em diâmetro. Não foi verificada diferença estatística entre adubação mineral e com resíduo (C2). A relação entre doses do resíduo e DAP se enquadrou como uma equação de segundo grau, onde o máximo ganho foi obtido com a dose de 18,17 t ha⁻¹ (Figura 34). Nas avaliações de DAP realizadas por Trigueiro (2006) do primeiro até o sexto ano de avaliação do eucalipto, foi possível evidenciar o efeito positivo e sinérgico da aplicação de adubos químicos e de resíduos celulósicos sobre os tratamentos sem adubação.

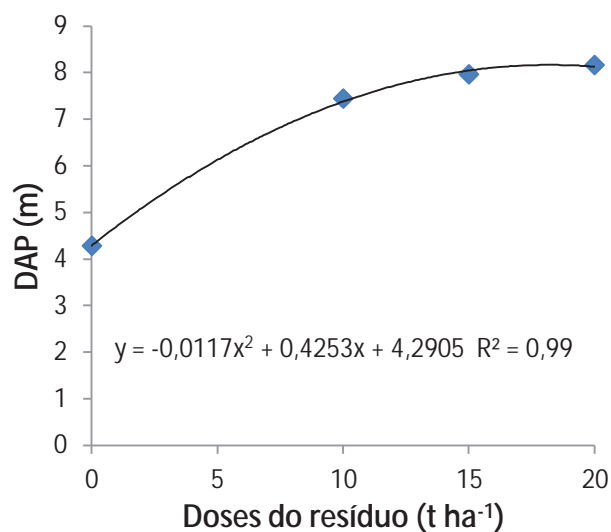
Tabela 24 - Diâmetro à altura do peito (DAP), Volume de madeira médio estimado e Incremento Médio Anual (IMA), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), aos 21 meses da espécie *Eucalyptus* spp., Selvíria, MS.

Tratamentos	DAP	Volume	IMA
	(cm)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Controle (D0)	4,28 b	6,32 b	3,62 b
Ad.Min.(M)	7,43 a	29,66 a	16,95 a
10 t ha ⁻¹ (D10)	7,44 a	28,99 a	16,56 a
15 t ha ⁻¹ (D15)	7,96 a	35,73 a	20,42 a
20 t ha ⁻¹ (D20)	8,16 a	36,83 a	21,05 a
Contrastes	F		
C1	257,2 **	137,28 **	137,2 **
C2	3,53	3,22	3,21
Regressão	F		
Linear	266,6 **	175,27 **	175,24 **
Quadrática	32,38 **	14,91 *	14,89 **
CV (%)	5,48	14,7	14,7

Médias seguidas de letras diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P > 0,05). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 (P < 0,05) e 1 % (P < 0,01), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 34 - Diâmetro à altura do peito (DAP) das plantas de *Eucalyptus* spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



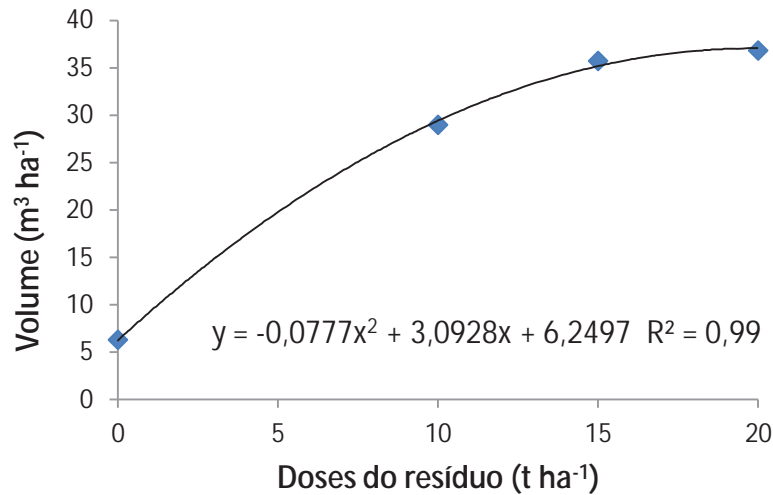
Fonte: Produção do próprio autor.

O volume estimado por hectare e o incremento médio anual (IMA) até os 21 meses apresentaram comportamento semelhante ao DAP, onde somente o D0 se diferenciou dos demais tratamentos (Tabela 24). Os tratamentos que receberam algum tipo de adubação foram 5,18 vezes maiores (418%) em volume e IMA em relação ao tratamento que não recebeu adubação. Não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos com adubação mineral e com resíduo. Notou-se que com o aumento das doses de resíduo celulósico houve incremento no volume de madeira (Figura 35) e IMA (Figura 36), porém em ambos os casos se enquadrando com melhor ajuste ($R^2 = 0,99$) a um comportamento quadrático, $P < 0,05$ para volume e $P < 0,01$ para IMA, de modo que o máximo desenvolvimento seria obtido com a dose de $19,90 \text{ t ha}^{-1}$.

De maneira similar, Barreto (2008), utilizando diferentes resíduos celulósicos (lodo e dregs/ grits) e aplicados em diferentes épocas (no plantio, três, seis e doze meses) em um Latossolo Vermelho distrófico obteve superioridade no DAP, altura e volume de plantas quando comparado ao controle aos dois, três e seis anos e meio.

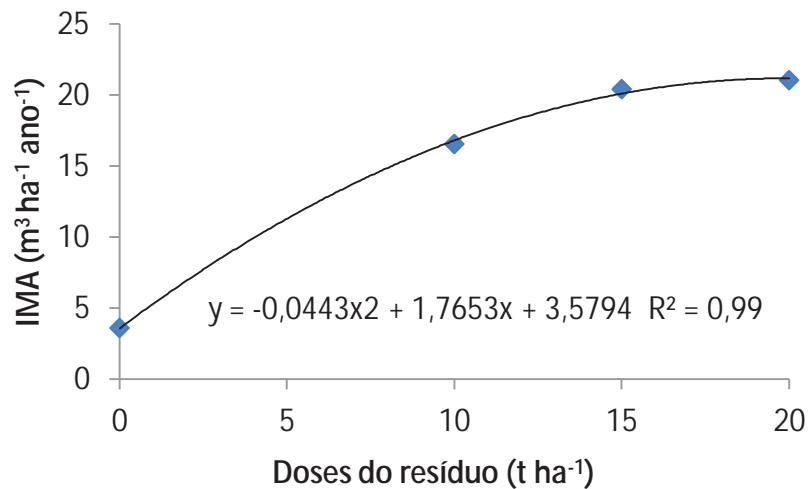
Ganhos em volume também foram obtidos por Andrade et al. (2003), que testaram doses crescentes de resíduo celulósico ($10, 20, 40$ e 80 t ha^{-1}), associado à doses de fósforo em *E. dunnii*, onde observaram ganhos em volume de 20 a 40% com as doses de resíduo em relação ao controle e ganhos de 52 a 92% nas diferentes combinações entre doses de fósforo e resíduo.

Figura 35 – Volume estimado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) das plantas de *Eucalyptus* spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 36 – Incremento médio anual (IMA) ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) das plantas de *Eucalyptus* spp. aos 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Em um trabalho distinto, utilizando resíduo celulósico associado à adubação mineral, Trigueiro (2006), notou diferença significativa entre os tratamentos que receberam adubação mineral mais resíduo celulósico e os que não receberam a partir de um ano e meio da aplicação e ao quinto ano, observou uma relação sinérgica entre as adubações, na qual, à medida que se elevaram as doses de adubo mineral e de resíduos, obteve-se maior produção de madeira. O autor relata que a utilização de 4 t ha^{-1} de dregs e grits mais a adubação mineral completa, representaram uma produção de madeira 38% superior à obtida apenas com adubação mineral e 128% superior em relação ao controle.

Outros estudos realizados visando à complementação da adubação mineral com resíduos da indústria de papel e celulose foram realizados por Guerrini et al. (2000) e verificaram que os tratamentos aumentaram a produção volumétrica de madeira de *E. grandis* aos três anos de idade quando comparado ao tratamento que recebeu apenas adubo químico. Também pesquisas realizadas por Bellote et al. (1998) mostram aumentos significativos de produtividade em plantios de *Eucalyptus grandis* com a aplicação conjunta de adubos minerais e de resíduos celulósicos. A tendência linear de incremento em produtividade observado até as doses de 50 t ha⁻¹ indica a possibilidade de ganhos ainda maiores com quantidades mais elevadas de resíduos.

Foram verificadas diferenças significativas na avaliação de altura média de plantas para a espécie *M. fistulifera* (Tabela 25). Na comparação de médias aos três meses após o plantio, o tratamento com adubação mineral foi superior ao controle e as doses de 10 e 15 t ha⁻¹ é igual estatisticamente a dose de 20 t ha⁻¹. Em C1 os tratamentos com algum tipo de adubação foram superiores ao controle em 0,08 m e em C2 a adubação mineral foi superior à média dos tratamentos com resíduo celulósico em 0,10 m. Na análise de regressão entre as doses, estas apresentaram um comportamento linear, aumentando em altura na medida em que aumentaram as concentrações do resíduo orgânico (Figura 37).

Comportamento semelhante foi observado nas avaliações de seis a 18 meses, de modo que a adubação mineral foi superior ao controle e as doses de 10 e 15 t ha⁻¹ (exceto na avaliação de 18 meses, onde M não diferiu de D10) e semelhante estatisticamente a dose de 20 t ha⁻¹ (Tabela 25). Ao longo desse período, C1 foi significativo a favor do grupo com algum tipo de adubação em relação ao não adubado e C2 foi significativo, indicando superioridade da adubação mineral em relação ao resíduo celulósico. No estudo entre as doses, estas apresentaram tendência de crescimento linear (Figura 37).

Na avaliação de altura média de plantas da espécie *M. fistulifera* aos 21 meses não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos analisados (Tabela 25). No confronto entre grupos, C1 foi significativo ($p < 0,05$), onde os tratamentos com diferentes formas de adubação foram superiores em aproximadamente 0,16 m ao controle. O estudo de tendências entre as doses não foi significativo, indicando que nesse momento, diferentes quantidades do resíduo celulósico não influenciariam no crescimento das plantas.

Na avaliação do diâmetro do caule à superfície do solo (DSS) para a espécie *M. fistulifera*, comportamento semelhante pode ser notado dos 3 aos 12 meses, onde adubação mineral é superior ao controle e as doses D10 e D15 e não difere de D20 (Tabela 26). Entre esse período, C1 é significativo a favor do grupo com alguma forma de adubação em relação

ao não adubado e C2 indica a superioridade da adubação mineral em relação à média dos tratamentos com resíduo celulósico. No estudo de tendências entre as doses, constata-se comportamento linear, com aumento do diâmetro do caule à superfície do solo à medida que se aumentaram as doses (Figura 38).

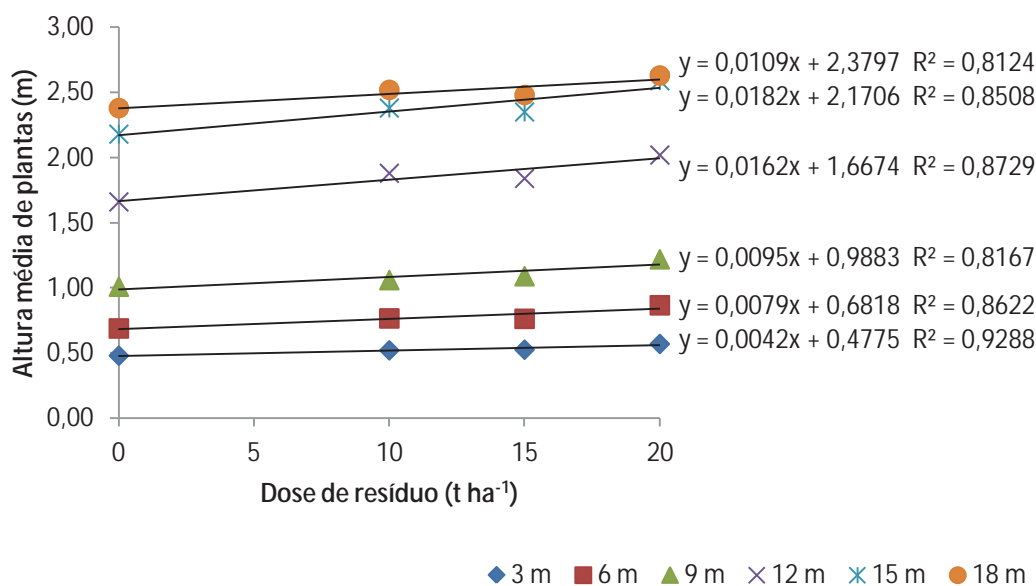
Tabela 25 - Altura média de plantas (m), ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *M. fistulifera*, Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (meses)						
	3	6	9	12	15	18	21
Controle (D0)	0,48 b	0,69 c	1,01 b	1,66 d	2,18 c	2,38 c	2,79
Ad. Min.(M)	0,64 a	0,99 a	1,34 a	2,10 a	2,59 a	2,69 a	3,03
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,52 b	0,77 bc	1,06 b	1,88 bc	2,38 b	2,52 abc	2,91
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,53 b	0,76 bc	1,09 b	1,84 c	2,35 bc	2,48 bc	2,84
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,57 ab	0,87 ab	1,22 ab	2,02 ab	2,59 a	2,63 ab	3,01
Contrastes							
C1	13,92 **	15,33 **	8,93 *	59,95 **	46,78 **	21,28 **	5,10 *
C2	18,68 **	20,27 **	13,79 **	20,92 **	11,29 **	10,25 **	2,62
Regressão							
Linear	11,42 **	10,22 *	6,49 *	57,66 **	44,41 **	12,93 **	3,55
Quadrática	0,26	0,52	1,11	0,01	1,35	0,11	0,21
CV (%)	7,45	8,8	8,76	3,67	3,25	3,05	4,20

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 37 – Altura de plantas de *Mabea fistulifera*. em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Nas avaliações de DSS referentes às medições de 15 e 18 meses, constatou-se semelhança estatística entre M, D15 e D20 e superioridade de M sobre D0 e D10 (Tabela 26). C1 indicou a superioridade do grupo adubado sobre D0 e C2, a superioridade da adubação com fertilizante mineral sobre os tratamentos com adubação com resíduo celulósico. Na análise de regressão entre as doses, observou-se significância para um comportamento linear, gerando uma equação crescente de primeiro grau (Figura 38).

Na avaliação realizada aos 21 meses após a implantação do experimento, os tratamentos M e D20 diferem de D0 e não diferem dos demais (Tabela 26). C1 confirmou a superioridade de 6,10 mm de diâmetro do grupo com algum tipo de adubação sobre o grupo não adubado e C2 indicou não haver diferenças estatísticas entre adubação mineral e resíduo celulósico. No estudo de tendência entre as doses, observou-se significância para uma equação linear, onde o aumento das doses de resíduo celulósico refletiu aumento no DSS (Figura 38).

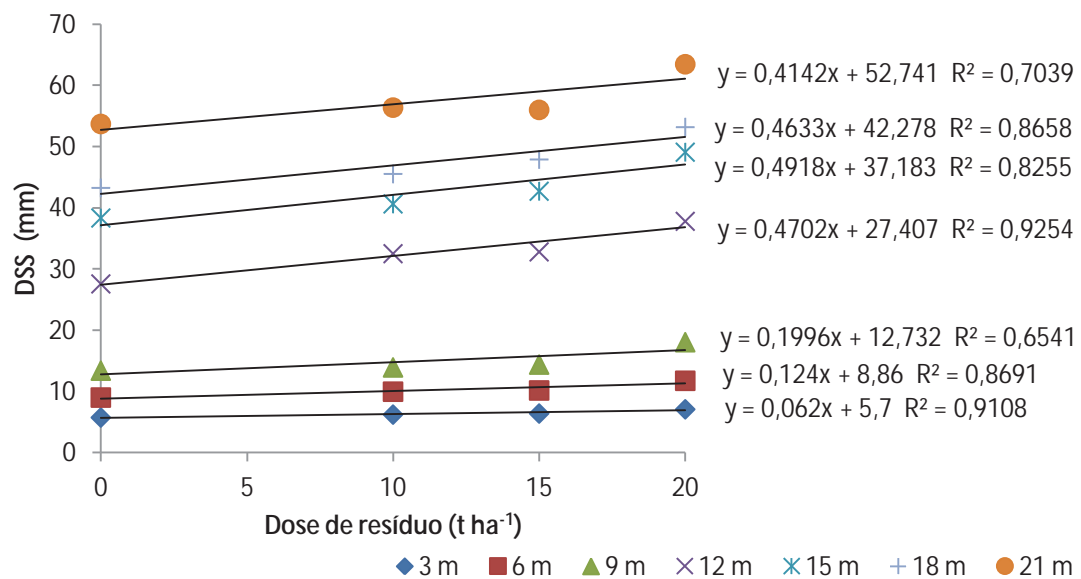
Tabela 26 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *M. fistulifera*, Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (Meses)													
	3	6	9	12	15	18	21							
Controle (D0)	5,78	b	9,04	c	13,44	c	27,6	c	38,36	b	43,28	b	53,72	b
Ad.Min.(M)	8,21	a	12,93	a	19,33	a	39,47	a	48,97	a	53,35	a	63,38	a
10 t ha ⁻¹ (D10)	6,26	b	10,00	bc	13,96	c	32,54	bc	40,66	b	45,56	b	56,39	ab
15 t ha ⁻¹ (D15)	6,43	b	10,20	bc	14,43	bc	32,83	bc	42,73	ab	47,92	ab	56,02	ab
20 t ha ⁻¹ (D20)	7,12	ab	11,78	ab	18,08	ab	37,82	ab	49,11	a	53,20	a	63,47	a
Contrastes														
C1	12,94	**	15,83	**	9,46	**	26,48	**	11,65	**	17,69	**	8,25	*
C2	20,74	**	16,11	**	14,5	**	9,81	**	5,14	*	7,29	*	4,69	
Regressão														
Linear	12	**	15,03	**	11,37	**	21,01	**	15,48	**	19,37	**	8,26	*
Quadrática	0,77		1,37		5,05		0,35		2,94		2,85		2,02	
CV (%)	9,04		9,1		11,04		8,24		8,35		5,88		6,48	

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 38 - Diâmetro do caule na superfície do solo (DSS) em mm, da espécie *M. fistulifera* em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Diferenças significativas foram constatadas para a espécie *M. fistulifera* na avaliação da variável diâmetro médio da copa (Tabela 27). Os resultados foram semelhantes às outras variáveis da espécie anteriormente comentadas, onde aos 3 e 6 meses, a adubação mineral foi superior ao controle e as doses D10 e D15; e não diferiu de D20. C1 e C2 foram significativos indicando que os tratamentos com algum tipo de adubação foram superiores ao controle e que a adubação mineral naquele momento inicial, foi superior ao uso de resíduo celulósico. As doses crescentes de resíduo celulósico apresentaram um comportamento linear crescente significativo (Figura 39).

Na avaliação aos 9 meses, a adubação mineral ainda se sobrepõe ao controle, D10 e D15 e não se diferencia de D20 (Tabela 27). C1 não diferencia grupo adubado e não adubado e C2 indicou superioridade de 0,25 m da adubação mineral em relação à média do grupo com adubação com resíduo. Não foram verificadas diferenças no estudo de tendências entre as doses de resíduo celulósico.

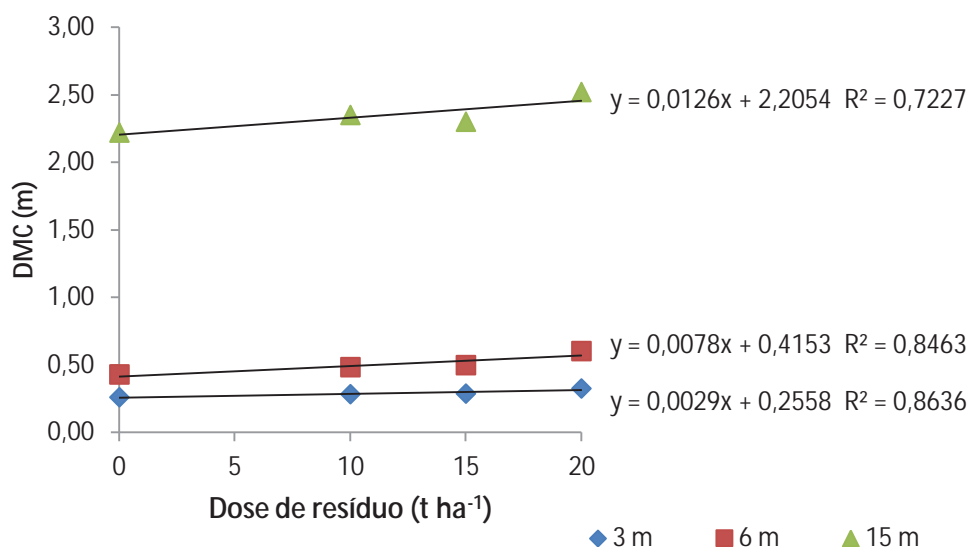
Tabela 27 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, ao longo dos períodos de avaliação (3; 6; 9; 12; 15; 18 e 21 meses), teste F para contrastes, regressão e coeficiente de variação (CV), da espécie *M. fistulifera*, Selvíria, MS.

Tratamentos	Épocas (Meses)						
	3	6	9	12	15	18	21
Controle (D0)	0,26 b	0,43 b	0,88 b	1,81 b	2,22 b	2,64 b	2,58 b
Ad.Min.(M)	0,40 a	0,71 a	1,18 a	2,24 a	2,56 a	3,04 a	2,92 a
10 t ha ⁻¹ (D10)	0,28 b	0,48 b	0,87 b	1,93 ab	2,35 ab	2,68 b	2,67 ab
15 t ha ⁻¹ (D15)	0,29 b	0,50 b	0,90 b	1,88 b	2,30 ab	2,70 b	2,61 ab
20 t ha ⁻¹ (D20)	0,33 ab	0,60 ab	1,01 ab	2,06 ab	2,52 ab	2,91 ab	2,84 ab
Contrastes							
C1	7,20 *	9,73 **	3,48	8,79 *	6,97 **	5,70 *	4,86 *
C2	17,15 **	14,37 **	16,97 **	12,76 **	4,49	10,23 **	6,28 *
Regressão							
Linear	5,76 *	7,68 *	2,47	4,83	5,51 *	4,31	3,58
Quadrática	0,55	0,96	1,88	0,28	0,60	1,51	0,93
CV (%)	13,6	15,12	11,35	6,8	5,90	5,29	5,31

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). Contrastes: C1: (-4D0 +M +D10 +D15 +D20); C2: (+3M -D10 -D15 -D20); ns, *, **: não-significativos, significativos a 5 ($P < 0,05$) e 1 % ($P < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 39 - Diâmetro médio da copa (DMC) em m, de *M. fistulifera* em função das doses do resíduo celulósico entre 3 a 21 meses. Selvíria, MS. 2011.



Fonte: Produção do próprio autor.

Aos 12 meses após o plantio, M foi superior à D0 e D15 e não diferiu de D10 e D20 (Tabela 27). O grupo adubado foi superior ao não adubado e a adubação mineral se mostrou superior à com resíduo orgânico. As doses crescentes não refletiram uma tendência sobre o diâmetro médio da copa.

Aos 15 meses M não diferiu de D10, D15 e D20 e foi superior a D0 (Tabela 27), o mesmo comportamento foi observado em C1 e C2 e na análise de regressão obteve-se uma tendência linear significativa (Figura 39).

Aos 18 meses M foi superior a D0, D10 e D15 e semelhante a D20; e aos 21 meses M foi superior a D0 e semelhante aos demais tratamentos na comparação entre tratamentos. Em Ambos os casos, C1 foi significativo indicando maior diâmetro médio da copa para o grupo com algum tipo de adubação em relação ao não adubado e C2 indicou superioridade da adubação mineral em relação à media dos tratamentos com resíduo celulósico. Não foram verificadas tendências significativas com o aumento das doses do material, indicando que nesses momentos, doses crescente desse material orgânico não proporcionou incrementos no DMC.

5 CONCLUSÕES

- Os efeitos do resíduo celulósico nos atributos físicos do solo foram pouco evidentes e se restringiram apenas à camada de 0-0,05 m de solo, causando redução na macroporosidade e infiltração de água para a cultura do *Eucalyptus* spp. e diminuição na agregação do solo para a espécie *Mabea fistulifera*.
- As doses crescentes de resíduo celulósico influenciaram a fertilidade do solo, da maneira que elevaram a disponibilidade de Ca e Mg para o *Eucalyptus* e MO e Ca para a *M. fistulifera* até a camada de 0,0-0,10 m.
- Em relação ao desenvolvimento das plantas, as doses de resíduo celulósico foram superiores ao controle e em grande parte das avaliações tão eficiente quanto à adubação mineral, confirmando sua possível utilização tanto como corretivo de solo e também como fornecedor de nutrientes às plantas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T, D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1065-1073, 2002.
- ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007.
- ALMEIDA, H. C.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MECABÔC JUNIOR, J.;ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p.1775-1784, 2008.
- ALVES, M. C. **Recuperação de um subsolo utilizado para terrapleno e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP**. 2001. 83 f. Tese (Livre- Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ANDRADE, G. C.; MARTINEZ, C. M.; SILVA H. D.; BELLOTE, A. F. J. Efeito da aplicação de adubo fosfatado e resíduo de celulose no crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANO, 1., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ/IBAMA/Universidade Federal do Paraná, 1997. p. 136-139.
- ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, jul./dez., 2003.
- ANGERS, D. A.; MEHUYIS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R. (Ed.) **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, 2000. p. 529-539.
- ARRUDA, O. G.; TARSITANO, M. A. A.; ALVES, M. C.; GIÁCOMO, R. G. Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduo celulósico em substituição ao fertilizante mineral. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 5, p. 576-583, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034737X2011000500007&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 18 fev. 2012.
- BARRETTO, V. C. M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto**. 2008. 64 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual paulista– Unesp, Jaboticabal, 2008.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil Physics**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1972. 529 p.
- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de

Eucalyptus grandis. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 167-187.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C.; Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez., 1998.

BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 anos de Brasil falem mal, mas continuem falando de mim**. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2011.

CAMPOS, F. S. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de um Latossolo Vermelho degradado**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2006.

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, apr. 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000200015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Ago. 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, jan. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2004000100007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 ago. 2009.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de Carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 997-1003, 1999.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 195-198, 2007.

COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. F. L.; RODRIGUES, L. C. E. Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 5, p. 1-37, 1989.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influence of residue management and soil tillage on second rotation Eucalyptus growth. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 9-17, 2007.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: [s.n.], 1980. 131 p. Não Publicado.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

DURIGAN, G.; BAITELLO, J. B.; FRANCO, G. A. D. C.; SIQUEIRA, M. F. **Plantas do Cerrado paulista: imagens de uma paisagem ameaçada**. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004. 475 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Embrapa Cerrados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (DF). **Compactação dos solos: conseqüências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina, 2005. 26 p. (Documento, 136).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FARIAS, L. L. **Potencial de *Mabea fistulifera* Mart. como produto florestal não-madeireiro**. 2009. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, dez. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162002000400024&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 ago. 2009.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FORTES NETO, P.; ALMEIDA, A. A. da S.; BASSA, A. G. M. C.; SILVA, C. R.; PATROCINIO, D. D. Mudanças nos atributos químicos do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus Grandis* fertilizado com composto de resíduos da indústria de celulose e papel. In: SEMINÁRIOS DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PARAÍBA DO SUL. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE, 2., 2009, Taubaté. **Anais...** Taubaté: [s.n.], 2009. p. 289-296.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. de C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, maio 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2008000500012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 ago. 2009. doi: 10.1590/S0100-204X2008000500012.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 219-267.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 3-45.

GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. **Avaliação inicial de algumas leguminosas herbáceas perenes para utilização como cobertura viva permanente de solo**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

GUERRA, M. A. S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas- UNESP, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BENEDETTI, V.; COMÉRIO, J.; MORO, L. Application of Wood ash and pulp and paper sludge to *Eucalyptus grandis* in three Brazilian soils. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K. (Eds.). **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000. p. 127-131.

GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 2003. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GREENLAND, D. J. Soil Management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v. 31, p. 301-322, 1981.

HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C. L.; COLE, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular Técnica**, Piracicaba, n. 198, p. 1-20, jul. 2003.

HERNANDEZ, F. B. T. **Análises agroclimáticas da área de influência do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, região noroeste do Estado de São Paulo**. Ilha Solteira: FEIS – DEFERS, 2007. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp/clima.php>>. Acesso em: 30 jan. 2009.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

LEAL FILHO, N.; BORGES, E. E. L. Influência da temperatura e da luz na germinação de sementes de canudo de pito (*Mabea fistulifera* Mart.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 57-60, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1, 367 p.

MACHADO, K. S.; ALTIMARE, A. L.; SILVA, H. R. Colaboração das geotecnologias na seleção de áreas para a implantação do parque aquícola no Rio São José dos Dourados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 953-960.

MATTOS, T. (Ed.). **Folha da bracelipa**. São Paulo: Bracelipa, 2011. (Ano Internacional das Florestas, 5). Disponível em: <<http://www.bracelipa.org.br/bra2/sites/default/files/folha/FolhaBracelipa-005.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, ago. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542005000400010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 ago. 2009.

MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP, 1994. p. 155-166.

NUNES, L. A. P. L.; SOUZA, P. A.; PEIXOTO, G. L.; MARTINS, S. V. Rebrotas de espécies arbóreas em fragmento florestal degradado por fogo em Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Rebrotas de espécies arbóreas em fragmento florestal degradado por fogo em Viçosa, MG**. Belo Horizonte: [s.n.], 2002.

PEREIRA, F. E. A. **Biodiesel produzido a partir do óleo de sementes de *Mabea fistulifera* Mart.** 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PERIN, A. **Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo.** 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

PRANDINI, F. L.; IWASA, O. Y.; OLIVEIRA, A. M. S. A cobertura vegetal nos processos e evolução do relevo: o papel da floresta. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1., 1982, Campos de Jordão. **Anais...** Campos de Jordão: Silvicultura em São Paulo, 1982. p. 1568-1582.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: [s.n.], 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REICHERT, J. M.; NORTON, D. L. Fluidized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and erosion of variable charge soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 60, p.275-282, 1996.

RODRIGUES, C.M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L.** 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, C. M.; BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; GOMES, F. S. Alterações na nutrição e na produtividade do pinus taeda l. provocadas pela aplicação de resíduo celulósico. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 51, p. 131-143, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Fatos e números do Brasil florestal.** [S.l.: s.n.], 2008. 93 p. Disponível em:
<<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acessado em: 24 set. 2010.

SILVEIRA, R. L.V. de A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. Seja doutor do seu eucalipto. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 12, p. 1-32, mar. 2001.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.** New Jersey: Centerton, 1955. 104 p.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeito de dregs e grits nos atributos de um Neossolo Quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto.** 2006. 85 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista- Unesp, Botucatu, 2006.

VASCONCELOS, R. F. B. de; CANTALICE, J. R. Barros; OLIVEIRA, V. S de.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 1, p. 309-316, 2010.

VIEIRA, M. F. ; CARVALHO-OKANO, R. M. Polinização de *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 40., 1989, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: [s.n.], 1989. v. 1, p. 203-203.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrimeter. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, p. 1024-1030, 1997.