



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANDERSON SECCO DOS SANTOS**

**CONDICIONAMENTO DE UM SUBSOLO EXPOSTO NO CERRADO  
POR MEIO DE RESÍDUOS E DA REVEGETAÇÃO**

Ilha Solteira

2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**CONDICIONAMENTO DE UM SUBSOLO EXPOSTO NO CERRADO  
POR MEIO DE RESÍDUOS E DA REVEGETAÇÃO**

**ANDERSON SECCO DOS SANTOS**

**Orientadora:** Prof. Dr. Ana Maria Rodrigues  
Cassiolato

**Co-Orientadora:** Prof. Dr. Kátia Luciene  
Maltoni

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

Ilha Solteira

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Santos, Anderson Secco dos.  
S237c      Condicionamento de um subsolo exposto no cerrado por meio de resíduos e da revegetação / Anderson Secco dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015  
63 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2015

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato  
Co-orientador: Kátia Luciene Maltoni  
Inclui bibliografia

1. Atividade microbiana. 2. Micorriza arbuscular. 3. Revegetação. 4. Espécies arbóreas. 5. Física e química do solo . 6. Áreas de empréstimo.



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

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Condicionamento de um subsolo exposto no Cerrado por meio de resíduos e da revegetação

**AUTOR:** ANDERSON SECCO DOS SANTOS

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

**CO-ORIENTADORA:** Profa. Dra. KATIA LUCIENE MALTONI

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

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. RENATO ALBERTO MOMESSO FRANCO  
Faculdades Integradas de Três Lagoas

Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI  
Coordenadoria de Curso de Engenharia Agrônômica / Unidade de Dracena

Data da realização: 14 de agosto de 2015.

**Dedico...**

*Aos meus pais, Cleusa Cenir Secco e Juraci dos Santos pelo amor incondicional.*

*As professoras Ana Maria e Kátia Maltoni que contribuíram para mais esta conquista.*

**Ofereço...**

*A Adriany, namorada e amiga.*

## *Agradecimentos*

*Agradeço a Deus!*

*A Profa Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato que fez possível à realização deste trabalho  
direcionando o caminho a ser seguido.*

*A Profa Dra. Kátia Luciene Maltoni pela co-orientação e importante apoio.*

*Ao Valdivino por sua ajuda incondicional.*

*A Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira,*

*Aos professores do curso e funcionários da Pós-Graduação que contribuíram para minha  
formação.*

*A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela sua contribuição  
incondicional no projeto de pesquisa, processo nº 2013/05221-5.*

*A minha família, a minha Mãe Cleusa, meu Pai Juraci e meu irmão Leonardo.*

*A minha namorada Adrianly e seus pais Ortiz e Silvia.*

*Aos meus amigos e amigas Gabriel (Pingola), Renan (Xupim), Ronaldo (Tomagochi), Diego,  
Epitácio, Glauber, João Zanardi, Adriana, Kellian, Thaís e as Republicas Wisknã e Paiol e  
tantas outras pessoas que de alguma forma contribuíram com meu aprendizado.*

## RESUMO

Para que um subsolo exposto tenha restabelecido, mesmo que parcialmente, a dinâmica de seus atributos na camada superficial e, com isto, apresente condições para receber e dar suporte à vegetação de cerrado é necessário a utilização de técnicas específicas. Para acelerem esta etapa uma alternativa seria a introdução de resíduos, como as macrófitas aquáticas removidas das águas de represas de usinas hidrelétricas, como resíduo orgânico e cinza de bagaço de cana-de-açúcar produzida em usinas sucroalcooleiras, como resíduo agroindustrial. Desta forma, o objetivo do trabalho foi o condicionamento de um subsolo exposto no Cerrado por meio de resíduos e da revegetação. A área foco tem extensão de 10,66 km<sup>2</sup>, em área contínua, localizada à margem direita do Rio Paraná e degradada na década de 60 durante construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Realizou-se a caracterização inicial da área e as demais avaliações foram feitas após 12 e 24 meses da implantação do experimento. A área foi gradeada (grade pesada), para rompimento do encrostamento superficial e escarificada, à profundidade média de 0,37 m. A área foi novamente gradeada para desmanchar os torrões produzidos durante a subsolagem e para a incorporação dos resíduos (macrófitas aquáticas e cinza de cana-de-açúcar) distribuídos a lanço. Após seis meses, mudas de dez espécies arbóreas de Cerrado foram introduzidas aleatoriamente, no espaçamento de plantio 4,0 x 5,0 m, totalizando 1.080 mudas. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 4, sendo os tratamentos composto de 3 doses de macrófitas (0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e 4 doses de cinza (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos, com 03 repetições, estabelecidos em parcelas de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>), separadas por faixas de 5 m de largura. Após 24 meses da instalação do experimento foram avaliados: densidade, macro e microporosidade, fertilidade, altura e diâmetro de colo das plantas, carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado e número de esporo de fungos micorrízico arbusculares (FMA). Houve uma melhora significativa nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A matéria orgânica proveniente do resíduo orgânico foi mineralizada e a densidade do solo foi a propriedade física mais sensível para detectar alterações na recuperação do subsolo estudado. Dos atributos químicos do solo, o K foi o que mais respondeu a aplicação de ambos os resíduos. Apesar da esporulação dos FMA não ter sido influenciada pelos resíduos adicionados ao subsolo, estes proporcionaram um ambiente mais favorável ao micro-organismos, observado pelo incremento nos valores do C-CO<sub>2</sub> liberado. O crescimento das espécies arbóreas respondeu significativamente aos tratamentos adotados, especialmente com

a adição de 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas associadas a 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Atividade microbiana. Micorriza arbuscular. Revegetação. Espécies arbóreas. Física e química do solo. Áreas de empréstimo.

## ABSTRACT

To restore in an exposed subsoil, even partially, the dynamics of their attributes in the surface layer and, thus, presents conditions to receive and support the Cerrado vegetation, the use of specific techniques is required. To accelerate this step, an alternative could be the introduction of waste, such as aquatic weeds removed from water reservoirs of hydro power plants, as an organic waste, and ash sugarcane bagasse produced in sugarcane mills, as an agroindustrial waste. Thus, the objective was the conditioning of exposed subsoil in the Cerrado, through organic and inorganic waste addition and revegetation. The focus area has an extension of 10.66 km<sup>2</sup>, in continuous area, located on the right bank of the Paraná River and degraded in the 60s during construction of the Ilha Solteira hydroelectric power. It conducted the initial characterization of the area and other evaluations were done after 12 and 24 months of implementation of the experiment. The area was fenced (heavy grade), to break the surface crusting, and scarified, at the average depth of 0.37 m. The area was again barred to break up the clods produced during the subsoil and the incorporation of waste (aquatic weeds and sugarcane ash) happened after them being spread on the subsoil surface. After six months, seedlings of ten Cerrado tree species were introduced randomly, in planting spacing of 4.0 x 5.0 m, totaling 1,080 seedlings. The experimental was a randomized block in a 3 x 4 factorial design, consisting of 3 doses of macrophytes (0, 16 and 32 t ha<sup>-1</sup>) and 4 ash levels (0, 15, 30 and 45 t ha<sup>-1</sup>), a total of 12 treatments, with 03 repetitions, established in plots 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>), separated by 5 m wide ranges. After 24 months of experiment installation were evaluated: density, macro and microporosity, fertility, height and diameter of the plants, released CO<sub>2</sub>-carbon (CO<sub>2</sub>-C) and number of spores of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). There was a significant improvement in physical, chemical and biological soil. Organic matter from the organic residue was mineralized and soil density was the most sensitive physical property to detect changes in the recovery of the studied subsoil. On the chemical soil properties, the K was the most answered the application of both waste. Despite the sporulation of AMF was not influenced by residues added to the basement, they provided a more favorable micro-organisms, observed by an increase in the values of released CO<sub>2</sub>-C. The growth of tree species responded significantly to the standard treatment, especially with the addition of 16 t ha<sup>-1</sup> of weeds associated with 45 t ha<sup>-1</sup> ash sugarcane bagasse.

**Keywords:** Microbial activity. Arbuscular mycorrhiza. Revegetation. Tree species. Soil physical and chemical. Leading areas.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Análise química das macrófitas aquáticas.....	28
<b>Tabela 2.</b>	Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos da cinza, considerando os critérios adotados para calcários pela legislação brasileira.....	29
<b>Tabela 3.</b>	Análise química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar.....	29
<b>Tabela 4.</b>	Descrição dos tratamentos gerados pela combinação das doses de macrófitas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar.....	32
<b>Tabela 5.</b>	Caracterização inicial da área, valores das médias, desvio padrão (SD), coeficientes de variação (CV), mínimo e máximo para densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, fertilidade, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e quantificação do carbono do CO <sub>2</sub> (C-CO <sub>2</sub> ) liberado, em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	33
<b>Tabela 6.</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para macroporosidade (MACR), microporosidade (MICR), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	35
<b>Tabela 7</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para fertilidade do solo nos tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	39
<b>Tabela 8.</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para quantificação do carbono do CO <sub>2</sub> (C-CO <sub>2</sub> ) liberado e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em solo degradado cultivado com espécies arbóreas nativas do cerrado.....	42
<b>Tabela 9.</b>	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos, para carbono do CO <sub>2</sub> (C-CO <sub>2</sub> ) liberado, para os tratamentos de resíduos macrófitas (MC) e cinza (CZ), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	44

<b>Tabela 10.</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para altura das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	45
<b>Tabela 11.</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para o diâmetro das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Caracterização climática da área de estudo para os períodos de Nov/2011 a Dez/2012.....	25
<b>Figura 2.</b>	Caracterização climática da área de estudo para os períodos de Jan/2013 a Dez/2013.....	25
<b>Figura 3.</b>	Mapa de localização do experimento.....	26
<b>Figura 4.</b>	Preparo da área degradada (a) e distribuição dos resíduos (b).....	27
<b>Figura 5.</b>	Área experimental (a) introdução das mudas (b) irrigação.....	30
<b>Figura 6.</b>	Equação de regressão entre densidade do solo e doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada na dose 0 e 16 t ha <sup>-1</sup> de macrófitas, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	36
<b>Figura 7.</b>	Equação de regressão entre números de esporos do solo e doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	43
<b>Figura 8.</b>	Médias para altura das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.....	46
<b>Figura 9.</b>	Médias para o diâmetro das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico) .....	48
<b>Figura 10.</b>	Dendrograma resultante da análise de agrupamentos mostra a formação 3 de grupos segundo a altura das árvores, e os Tratamentos analisados. Na legenda do eixo x do gráfico, T = Tratamentos e R = Repetição.....	50
<b>Figura 11.</b>	Dendrograma resultante da análise de agrupamentos mostra a formação 3 de grupos segundo o diâmetro das árvores, e os Tratamentos analisados. Na legenda do eixo x do gráfico, T = Tratamentos e R = Repetição.....	51
<b>Figura 12.</b>	Estado de revegetação da área, após 24 meses do experimento.....	51

## SUMARIO

	<b>Pag.</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Propriedades físicas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Propriedades químicas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Propriedades biológicas.....</b>	<b>22</b>
<b>3. Material e Métodos.....</b>	<b>24</b>
<b>4. Resultados e Discussão.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1. Propriedades físicas.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2. Propriedades químicas.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Propriedades biológicas.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4. Revegetação.....</b>	<b>44</b>
<b>5. Conclusão.....</b>	<b>52</b>

**Referências bibliográficas**

## 1 INTRODUÇÃO

Empreendimentos que envolvem a remoção do solo e deixam um substrato litólico exposto provocam profundas modificações ambientais nos ecossistemas, desenvolvendo áreas degradadas. No entanto, segundo Arato, Martins e Ferrari (2003), nem sempre é possível retornar um ecossistema degradado à sua condição original devido, entre outras causas, ao estado de degradação a que foi submetido.

A modificação e a degradação dos solos têm aumentado nas últimas décadas, principalmente pela mineração agricultura ou pecuária intensiva (NEPSTAD et al., 1991). Essas áreas apresentam substratos com características de retenção de água, fertilidade e atividade biológica inadequada para crescimento vegetal (LEITE; MARTINS; HARIDASAN, 1992).

Se a saúde do solo é definida como "a capacidade do solo para funcionar como um sistema vivo" (FAO, 2011), as "áreas de empréstimo" no entorno da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira podem ser consideradas áreas degradadas, pobres em nutrientes e matéria orgânica. Nestas áreas as propriedades do solo foram modificadas e estão distantes das condições naturais (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007), uma vez que delas foram retirados os horizontes superficiais do solo e a vegetação natural. Assim, entende-se por área de empréstimo o local de onde foram retirados materiais para complementar o volume de solo necessário à execução da terraplanagem e da fundação das barragens (LOPES; QUEIROZ, 1994).

A crescente conscientização ambiental da sociedade, aliada às ações dos pesquisadores, tem acelerado a busca de novas "equações ambientais" que objetivam a recuperação das áreas degradadas a um baixo custo. O uso da cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais é uma opção coerente, prática e econômica, embora possam apresentar dificuldades de adaptação, pois o subsolo exposto não apresenta condições de suportar uma revegetação natural (VALCARCEL; D'ALTERIO, 1998), para isto é preciso desenvolver técnicas especiais.

A produção de energia pelas hidrelétricas e de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar podem ocasionar alguns problemas ambientais em decorrência de resíduos gerados, como a proliferação de macrófitas aquáticas ou a cinza do bagaço de cana-de-açúcar,

respectivamente, tornando de grande importância ambiental a realização de estudos que visem o aproveitamento dos mesmos.

A disposição final dos resíduos em solos cultivados é uma opção muito utilizada em vários lugares do mundo, sendo realizada de maneira ordenada e com o objetivo de utilizar o resíduo em benefício ao solo e não apenas descartá-lo. A adoção dessa prática pode contribuir para a sustentabilidade agrícola, na medida em que são melhorados os indicadores de qualidade do solo. Para Doran e Parkin (1994) os indicadores devem seguir os critérios, como: envolver processos ocorrentes no ecossistema ou integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo, decisivos para o desenvolvimento das plantas e da microbiota do solo.

A biomassa microbiana do solo é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os micro-organismos e pela microfauna (JENKINSON; POWLSON, 1976). A atividade microbiológica do solo, avaliada pela respiração microbiana por meio da quantificação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, reflete sua atividade (GAMA-RODRIGUES, 1999).

Parte da comunidade dos micro-organismos do solo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) fazem simbiose com as raízes da maioria das espécies vegetais (micorrizas), contribuindo para o fornecimento de nutrientes às plantas. A colonização das raízes pelos fungos resulta em micélio abundante, que absorvem nutrientes e água do solo transferindo para o hospedeiro. Este processo é importante, pois transloca nutrientes, inclusive aqueles em baixa concentração ou mobilidade na solução do solo, como o fósforo. A absorção de nutrientes nas hifas dos fungos micorrízicos promove proteção contra lixiviação, adsorção ou outro fenômeno que os tornam indisponíveis às raízes das plantas (SAGGIN-JUNIOR; SILVA, 2005).

Nesse sentido o estudo propôs o condicionamento de um subsolo no Cerrado por meio da adição de resíduos orgânicos e inorgânicos (macrófitas aquáticas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar) com o objetivo de formar um horizonte de superfície em uma área com subsolo exposto, que possibilitasse o restabelecimento da dinâmica entre as condições físicas, químicas e biológicas, para que a camada superficial tenha condições de dar suporte à vegetação de cerrado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em todo o mundo são mais de 35 milhões de km<sup>2</sup> que apresentam solos degradados ou em processo de degradação, essa área corresponde por aproximadamente 23,5 % da litosfera, afetando cerca de 1 bilhão e meio de pessoas (BAI et al., 2008). O Cerrado brasileiro vem passando por profundas modificações nas duas últimas décadas, não apenas pela expansão da agricultura, mas por atividades dos setores industriais e minerais. O Cerrado apresenta a maior biodiversidade do mundo e apresenta um elevado grau de endemismo da flora e fauna (MITTERMEIER et al., 2005; MENDONÇA et al., 2008). Cerca de cinco décadas de ação antrópica no Cerrado reduziu a menos da metade da sua vegetação nativa (HENRIQUES, 2003), restando apenas 46,74% de áreas naturais (MMA, 2007).

O bioma Cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira em extensão, possui uma das mais ricas e diversas floras do mundo, com cerca de 11.627 espécies vasculares de plantas superiores nativas (MENDONÇA et al., 2008), além de ampla variação regional na composição florística (RATTER et al., 2003, BRIDGEWATER et al., 2004).

A demanda crescente de energia torna-se necessária a construção ou criação de fontes de energia para abastecimento mundial. Embora a hidroeletricidade, como alternativa para produção de energia, possa ser considerada ambientalmente mais vantajosa em relação a outras opções, por utilizar um recurso natural renovável e não poluente, a formação de reservatórios implica ocorrência de diversos impactos negativos ao ambiente, atingindo elementos químicos, físicos, biológicos e socioeconômicos (CESP, 1998).

Geradas pela construção de hidroelétricas, as áreas de empréstimo se encontram degradadas, causando vários impactos ao meio, resultando num conjunto de problemas ambientais, como a extinção de espécies da fauna e flora, contribui com as mudanças climáticas, erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água (RAMOS; MARTINS, 2010). Áreas degradadas como estas, com baixa disponibilidade de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica e alterações nas propriedades físicas, dificultam o estabelecimento e crescimento da cobertura vegetal (DIAS et al., 2007).

Existem várias alternativas para a recuperação de áreas degradadas, as quais estão em constante aprimoramento para que essas intervenções possam, em curto, médio e longo prazo, proporcionar que aos ambientes a auto-sustentabilidade nos processos de construção de novos ecossistemas (VALCARCEL; D'ALTÉRIO, 1998; VALCARCEL; SILVA, 2000).

Para realização com sucesso dos projetos de recuperação de áreas degradadas depende, entre outros fatores, da escolha correta das espécies vegetais. Decorrente do grande número de espécies e de suas complexas inter-relações e interações com o ambiente, a escolha será tanto mais correta quanto maior for o conhecimento pertinente a elas. Esse conhecimento se refere, basicamente, à auto-ecologia e ao comportamento silvicultural (FERREIRA, 2001).

Entre várias alternativas para recuperação, Valcarcel e D'altério (1998) propõem o plantio de espécies arbóreas com a finalidade de reabilitação de ecossistemas degradados, conhecida como medida biológica. Nem sempre é possível o retorno de um ecossistema degradado à sua condição original devido, entre outras causas, ao estado de degradação a que foi submetido (ARATO; MARTINS; FERRARI, 2003). Nas áreas de empréstimo, onde o subsolo fica exposto e destituído de matéria orgânica, sem condições de estabelecer regeneração espontânea do ecossistema, uma alternativa é a introdução de resíduos que possam ajudar na reconstrução de um horizonte de superfície que permita a revegetação.

Macrófitas aquáticas é a denominação mais adequada para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, sendo uma denominação genérica, independente de aspectos taxonômicos. Suas elevadas taxas de produção primária e o rápido crescimento populacional de várias espécies favorecem a colonização de vastas áreas, podendo afetar os usos múltiplos de ecossistemas aquáticos (IRGANG; GASTAL JÚNIOR, 1996). Dentre os problemas mais comumente observados podem ser citados: redução da biodiversidade prejuízos aos esportes náuticos (natação, esqui e pesca), entupimento de tubulações e canais de irrigação e, mais recentemente, prejuízos à produção de energia em usinas hidrelétricas (MITCHELL; PIETERSE; MURPHY, 1990).

A construção de barragens, transformando rios em grandes reservatórios, associada ao carregamento de nutrientes para o leito dos rios por meio do aporte de despejos domésticos e industriais, tem levado a uma condição de desequilíbrio no sistema hídrico, caracterizado pela grande disponibilidade de nutrientes (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997; VELINI, 2000). Esse processo é denominado eutrofização, que acarreta aumento da produtividade biológica e ocasionam problemas, que vão desde a estética até o comprometimento da possível utilização da água para recreação e/ou abastecimento, decorrentes da grande concentração de algas e vegetação aquática (PINTO; CAVALCANTI, s.d.).

Grande parte dos reservatórios da Região Sudeste é colonizada por macrófitas aquáticas, as quais causam problemas operacionais e de usos múltiplos em decorrência do seu desenvolvimento excessivo (THOMAZ; BINI, 1998). As empresas geradoras de energia têm

relatado prejuízos em razão da presença de plantas aquáticas, que ocasionam grandes transtornos à operação das usinas (PRINCIPE; KURATANI; MELONI, 1997; VELINI, 2000).

Os resíduos gerados por estas plantas, quando incorporadas no solo, podem exercer influência positiva nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Sua biomassa, rica em macro e micronutrientes, é excelente para aplicar em solos desprovidos de húmus e matéria orgânica (LUTZENBERGER, 1985).

No alto desenvolvimento tecnológico apresentado pelo setor industrial, a indústria sucroalcooleira, por muitos anos, tem buscado encontrar soluções para o descarte dos resíduos gerados no processo de produção de açúcar e álcool. O último resíduo produzido pela cadeia da cana-de-açúcar são as cinzas da queima do bagaço, geradas na ordem de 25 kg de cinza para cada tonelada de bagaço (MANHÃES, 1999). As cinzas podem ser indicadas como adubo nas lavouras, pois serem fontes de macro e micro nutrientes e de corrigirem a acidez do solo, melhorando o desenvolvimento da cultura (BRUNELLI; PISANI JÚNIOR, 2006).

A disposição de resíduos em solos agrícolas é uma alternativa muito utilizada em vários países, e pode ser definida como colocação metódica ou forma de emprego, desde que 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 que visam por soluções alternativas para utilização desses resíduos, que permitam seu aproveitamento e a redução do impacto ambiental (ANDRADE et al., 2003; BELLOTE et al., 1998; RODRIGUES, 2004). No Brasil, a disposição final de 7,11 milhões de toneladas de cinza tem sido o solo, local aonde vem sendo colocada ora como adubo ora como um simples material de descarte (MANHÃES, 1999; FREITAS, 2005).

A gestão adequada de resíduos implica na necessidade de se estudar mercados onde seu reaproveitamento seja possível (JOHN, 2000). A transformação de resíduos em subprodutos pode atenuar o impacto ambiental por proporcionar uma alternativa de destinação, além de reduzir o consumo de recursos naturais (MONTEIRO et al., 1998).

A combinação destes dois resíduos, um orgânico e outro inorgânico, macrófitas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente, podem se complementar e constituir uma importante alternativa a ser testada na recuperação de áreas decapitadas.

A ‘qualidade do solo’ foi conceituado como “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover à saúde vegetal e animal” (DORAN; PARKIN, 1994). A esta

se pode acrescentar que a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo que o habilita a exercer suas funções na plenitude (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

No entanto, nenhum indicador, individualmente, consegue descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo, pois deve haver relação entre todas as suas propriedades. Os critérios para seleção de indicadores relacionam-se principalmente com sua utilidade em definir os processos do ecossistema (STENBERG, 1999).

## **2.1 Propriedades físicas**

A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (BURGER, 1996). Nesse contexto, a avaliação da qualidade do solo tem sido crescentemente proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola ou florestal.

Existem várias maneiras pelas quais ocorrem alterações das propriedades físicas do solo, porém quando ocorre a perda da estrutura original de uma área, em decorrência da retirada de uma expressiva camada de solo, implica quase sempre em fracionamento dos agregados em unidades menores. A qualidade da estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo (FERREIRA, 2010), a estrutura pode ser avaliada pela densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo (AGUIAR, 2008), para Reinert et al. (2006), a estrutura é avaliada pelos atributos que lhe dão forma, isto é, densidade do solo; geometria, tamanho e continuidade de poros; infiltração; retenção de água e aeração.

Para avaliação da qualidade do solo, algumas das principais propriedades e fatores físicos considerados adequados para descrevê-las são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica a penetração, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem (INGARAMO, 2003).

Com relação à densidade, a degradação da estrutura do solo tem efeito imediato no seu aumento, acarretando na redução da macroporosidade. Anjos et al. (1994) e Veiga, Bassil e Rosso (1994) observaram em solos degradados uma relação inversa entre densidade do solo e porosidade total.

Um solo ideal, com boas propriedades de aeração, permeabilidade e ao mesmo tempo uma boa retenção de água para as plantas é um solo que apresenta seu espaço poroso igualmente dividido em microporos e macroporos (CORREIA et al., 2004). O aparecimento de camadas compactadas deve, também, influenciar a taxa final de infiltração de água no solo e o desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA; MIELNICZUK, 1997). Carduro e Dorfman (1988) relatam que condições tais como: porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras, tem grande influência na infiltração da água no solo.

## **2.2 Propriedades químicas**

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acumulação e decomposição da matéria orgânica. Ações antrópicas promovem, de acordo com Silva et al. (2007), alterações nesses atributos que, na maioria das vezes, causam impactos ambientais negativos. A ciclagem de nutrientes tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes nos ambientes, não só para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal nas áreas degradadas em recuperação (SOUZA; DAVIDE, 2001).

Vários elementos químicos podem ser úteis como indicadores da qualidade do solo. Para a caracterização química do solo de várias áreas, Alvarenga e Davide (1999) verificaram que as propriedades do solo mais correlacionadas com as alterações nos agroecossistemas estudados foram o K, Mg, Ca e S, assim como a densidade do solo e a porosidade total do solo dentre as propriedades físicas.

Outro indicador importante na determinação da qualidade do solo é a matéria orgânica, uma vez que sua quantidade no solo é considerada um dos fatores chaves da qualidade. Sua presença controla a erosão, a atividade dos organismos, e exerce papel importante na complexação, transporte e disponibilidade de nutrientes, tendo grande impacto nas estruturas física, químicas e biológicas do solo (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000). Com a influência do manejo de culturas e preparo do solo, no entanto, a matéria orgânica é influenciada pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que atuam

melhorando os processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (LEITE et al., 2003).

### **2.3 Propriedades biológicas**

Os índices microbiológicos, baseados em mais de um parâmetro, podem ser capazes de discriminar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre qualidade do solo (PAPENDIK; PARRA, 1992). Estudos têm mostrado que indicadores biológicos são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos para revelar com maior antecedência alterações que ocorrem no solo em função de seu uso (DORAN, 1980).

A manutenção da produtividade de um ecossistema depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo, que inclui fungos, bactérias, arqueas, actinobactérias, protozoários algas e a microfauna. Como a responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais no solo, o micro-organismos utilizam a matéria orgânica como fonte de nutrientes e energia (SIQUEIRA; MOREIRA, 1996).

Como um indicador biológico ou como índice de adequação de sustentabilidade, a biomassa microbiana apresenta forte correlação com a matéria orgânica do solo, refletindo as mudanças na sua concentração. É um importante componente na avaliação da qualidade do solo atua nos processos de decomposição natural interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (FRANZLUEBBERS; HANEY; HONS, 1999).

A respiração do solo ou o carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado representa a oxidação biológica da matéria orgânica pelos micro-organismos aeróbios, e ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. A avaliação da respiração é a técnica mais freqüente na quantificação da atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com matéria orgânica e biomassa microbiana (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

Para a maioria dos solos ecossistemas, todavia, tanto os índices como as características consideradas até o momento como indicadores ainda não abrangem ou desvendam a complexidade do sistema edáfico (SIQUEIRA; MOREIRA 1996), de modo a atender plenamente a definição de Doran e Parkin (1994).

Dentre os micro-organismos do solo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que pertencem ao Filo Glomeromycota, têm ocorrência generalizada e são bem disseminados nos trópicos (CAVALVANTE; GOTO; MAIA, 2009). Eles são biotróficos, ou seja,

dependem obrigatoriamente do estabelecimento da simbiose com plantas hospedeiras compatíveis, de modo que a planta abastece o fungo com energia para o crescimento e reprodução via fotossintatos, enquanto o fungo fornece à planta e ao solo uma variedade de benefícios (SOUZA et al., 2010).

A absorção de nutrientes e água pelo fungo acontece pelo seu micélio extra-radicular, com importância destacada para o fósforo e a translocação e disponibilização desses nutrientes para as plantas micotróficas (MIYASAKA; HABTE, 2001). Em troca a este fornecimento de nutrientes, as plantas hospedeiras fornecem aos fungos carboidratos para sua sobrevivência e multiplicação (PARNISKE, 2008).

Os FMA causam impactos que vão desde suas relações com plantas (processos de absorção de nutrientes), em comunidades vegetais (influenciando sua diversidade e abundância) e, finalmente, com processos relacionados à estabilidade de ecossistemas, ao participarem de forma ativa e significativa na dinâmica de agregação do solo. Assim, são percebidos não apenas na perspectiva da planta, mas do solo em suas múltiplas relações, os FMA são hoje reconhecidos como um componente integral e fundamental na construção e estabilidade de ecossistemas de todo o planeta (Van der HEIJDEN et al., 1998).

Para o desenvolvimento de plantas em áreas degradadas, torna-se necessário, em muitos casos, a utilização de insumos químicos e orgânicos. Entretanto, os benefícios proporcionados por esses insumos podem depender das interações com micro-organismos, como os FMA (MARTINS et al., 1999). A regeneração espontânea da vegetação nativa, ao longo do tempo, é consequência do aparecimento de condições favoráveis ao seu crescimento. Essas condições podem ser promovidas, em parte, pela comunidade fúngica, como os FMA que correm naturalmente mesmo em solos degradados (MASCHIO et al., 1992). Chen et al. (2005) constataram que plantas cultivadas em solos contaminados com metais pesados e colonizadas pelos fungos absorvem e acumulam mais metais do que plantas desprovidas dos FMA, nas plantas colonizadas, os FMA aumentam a concentração dos metais na raiz e reduzem sua translocação da raiz para parte aérea.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em novembro de 2011 em condições de campo, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia – UNESP/Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, MS, sob clima do tipo AW (clima tropical com estação seca no inverno), segundo classificação de Koppen, as figuras 1 e 2 mostram a precipitação e temperatura média mensal no decorrer do experimento.

A vegetação nativa da região de estudo é o Cerrado e o solo original é um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), textura franco argilo-arenosa profundo e muito intemperizado, relevo suave a plano (ALVES; SOUZA, 2008).

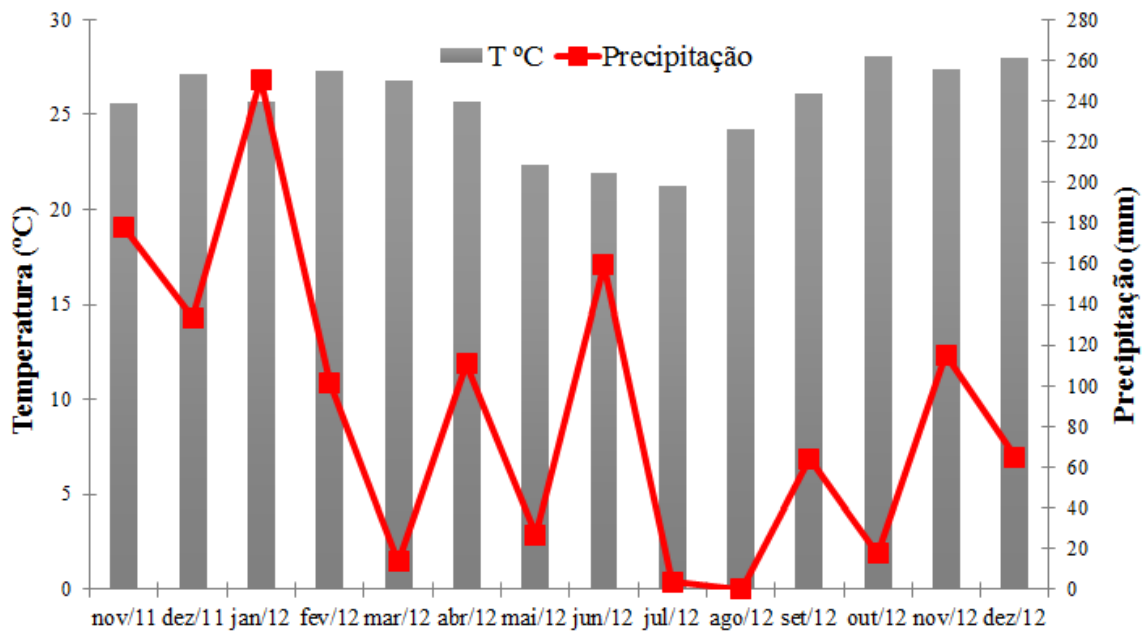
A área escolhida foi degradada, na década de 60, pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, de onde foram removidos a vegetação nativa de Cerrado e os horizontes superficiais do solo, deixando exposto o subsolo, de textura argilosa (areia 460 g kg<sup>-1</sup>, silte 170 g kg<sup>-1</sup> e argila 370 g kg<sup>-1</sup>) (EMBRAPA, 2011). Esta, até hoje, permanece sem cobertura vegetal, devido à baixa capacidade de resiliência deste, em função da intensidade do impacto.

Com uma extensão de 10,66 km<sup>2</sup>, a área em foco é contínua e está localizada à margem direita do Rio Paraná, a jusante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (entre as Latitudes 20° 22' 45,2" e 20° 24' 12,4" Sul e as Longitudes 51° 22' 33,3" e 51° 23' 22,0" Oeste), com altitude variando de 291 a 350 m. Dentro desta região foi estabelecida uma área piloto para o estudo proposto, de aproximadamente 34.000 m<sup>2</sup> (latitude 20° 23' 02" S e longitude 51° 24' 24" O) (Figura 3).

A caracterização inicial da área de implantação dos tratamentos constou de avaliações da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade (EMBRAPA, 2011), nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m e para a caracterização química (RAIJ et al., 2001) e microbiológicas, na profundidade de 0 - 0,20 m.

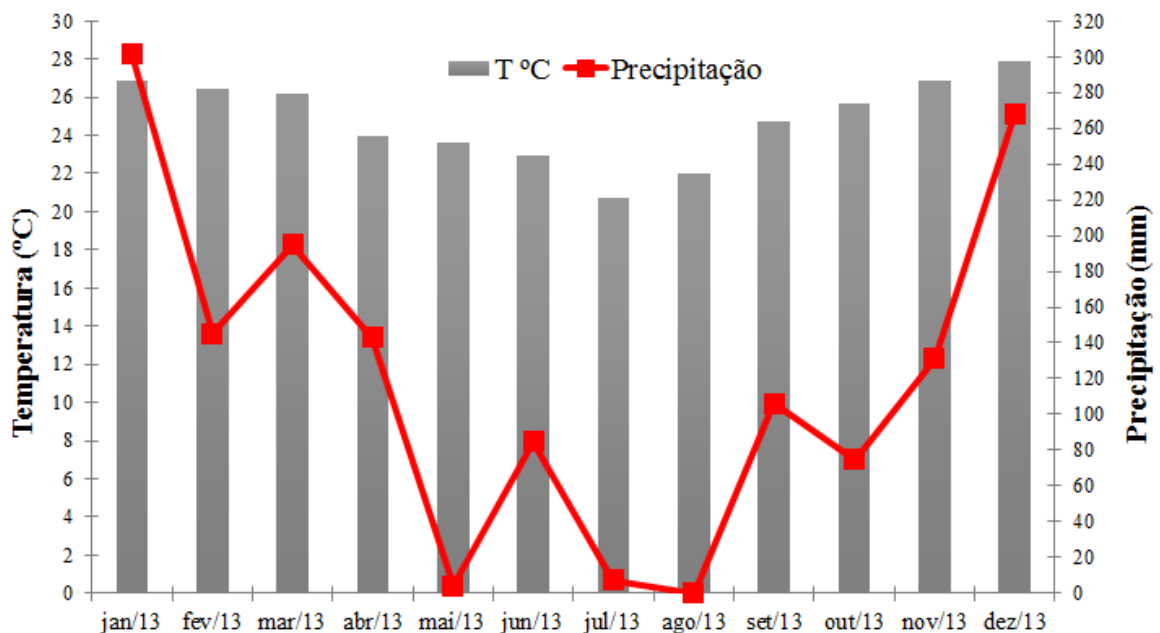
Para quantificação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado foi utilizada a metodologia proposta por Anderson e Domsch (1989) e para contagem de esporos de FMA foi utilizado o solo previamente coletado e peneirado (100 g por repetição). Os esporos foram separados e coletados segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido e de centrifugação e flutuação com sacarose (GERDEMANN; NICOLSON, 1963). Todas as avaliações da caracterização inicial foram feitas com 20 repetições ao longo de toda a área.

**Figura 1-** Caracterização climática da área de estudo para os períodos de Nov/2011 a Dez/2012.



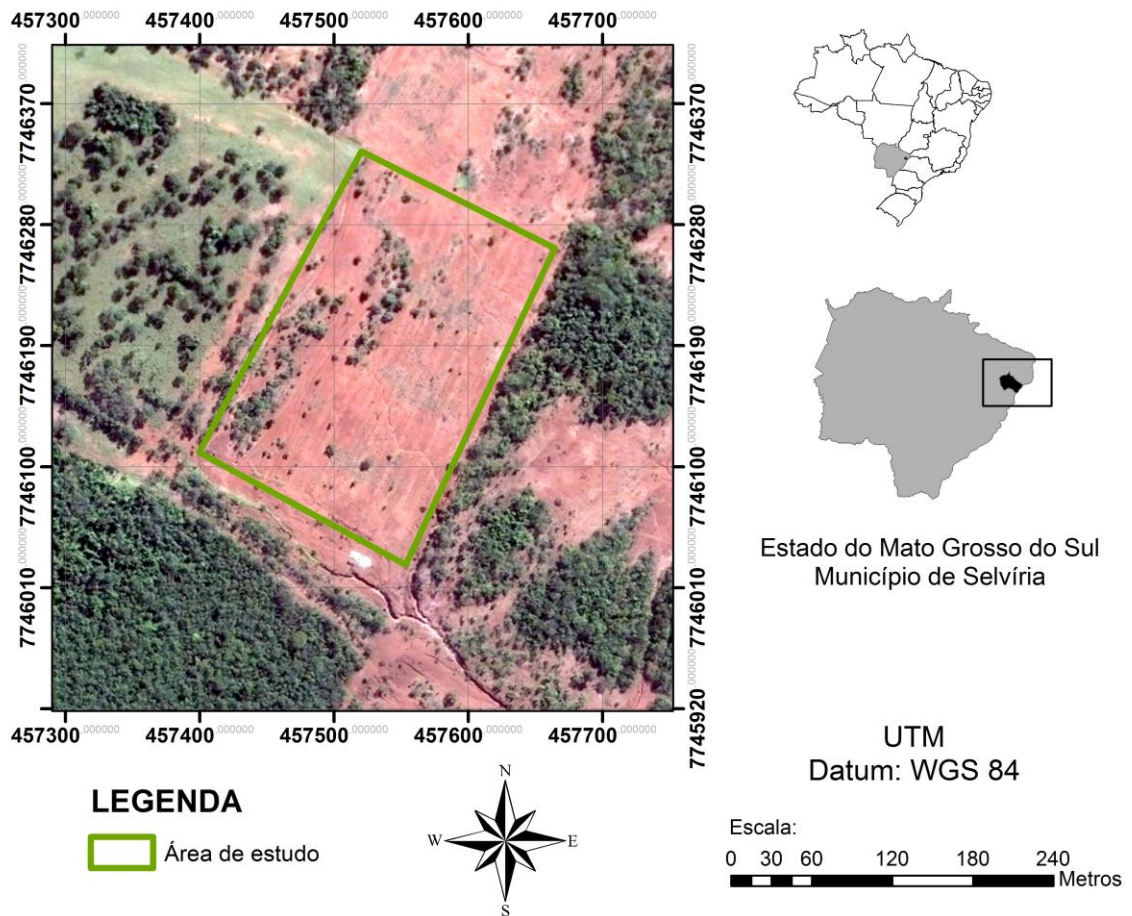
Fonte: Unesp (2015)

**Figura 2 -** Caracterização climática da área de estudo para os períodos de Jan/2013 a Dez/2013.



Fonte: Unesp (2015)

**Figura 3.** Mapa de localização do experimento.



Fonte: Dados do próprio autor.

Para atendimento dos objetivos, a área experimental foi preparada com grade pesada, de 14 discos com diâmetro de 32 polegadas, acoplada na barra de tração do trator 4x2 TDA da marca Massey Ferguson, modelo 660, com potência máxima de 110,4 kW, para rompimento do encrostamento superficial. Em seguida, a área foi escarificada utilizando-se o mesmo trator, acoplado-se em sua barra de tração o escarificador de 7 hastes, espaçadas de 0,40 m, com largura de ponteira de 0,05 m, a uma profundidade média 0,37 m, dotado de rolo destorroador.

Os resíduos (macrófitas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar) foram distribuídos individualmente e a lanço, utilizando um distribuidor de corretivos e fertilizantes, com capacidade para 2 toneladas. O mecanismo distribuidor de discos duplos foi acoplado a um trator 4x2 da marca Massey Ferguson, modelo MF 290 com potência máxima de 63,30 kW, ajustado para as quantidades (doses) de 16 e 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e de 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza, separadamente. Após distribuição, os resíduos foram incorporados utilizando-se uma

grade média de 16 discos, de 24 polegadas de diâmetro, acoplados na barra de tração do trator 4x2 da marca Massey Ferguson, modelo MF 295 de 88,0 kW de potencia máxima (Figura 4).

As macrófitas aquáticas foram retiradas da represa da Usina Hidrelétrica de Jupia, devido à sua multiplicação excessiva e transportadas até a área experimental e empilhadas, onde permaneceram expostas ao sol por 120 dias, para perder o excesso de água e facilitar a posterior incorporação ao subsolo exposto. Uma amostra das macrófitas foi coletada e enviada para caracterização inicial quanto a sua composição química, seguindo metodologia proposta por (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989), sendo os resultados estão apresentados na Tabela 1.

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar, coletada em caldeiras da Usina Alcoolvale: Açúcar e Álcool S.A., em Aparecida do Taboado, MS, foi transportada até a área experimental e empilhadas, onde permaneceu exposta ao sol por 15 dias antes de ser incorporada ao subsolo exposto.

**Figura 4.** Preparo da área degradada (a) e distribuição dos resíduos macrófitas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar (b).

(a)



(b)



Fonte: Unesp (2011)

**Tabela 1.** Análise química das macrófitas aquáticas.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Boro	mg kg <sup>-1</sup>	27	Ferro	mg kg <sup>-1</sup>	2000
Nitrogênio	g kg <sup>-1</sup>	17,6	Fósforo	g kg <sup>-1</sup>	1,7
Potássio	g kg <sup>-1</sup>	6,5	Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	57
Cálcio	g kg <sup>-1</sup>	11,6	Manganês	mg kg <sup>-1</sup>	194
Magnésio	g kg <sup>-1</sup>	2,4	Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	34
Enxofre	g kg <sup>-1</sup>	6,7			

Fonte: Elaboração do autor.

Uma amostra desta cinza foi coletada e enviada para caracterização inicial quanto à sua granulometria, por meio de peneiramento a seco conforme utilizado para calcário, pela portaria nº 03, de 12 de junho de 1986 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Tabela 2) e quanto às características química, determinada em termos de

óxidos totais, cuja análise foi realizada no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

A área permaneceu em pousio por, aproximadamente, três meses, após mecanização e incorporação dos resíduos. Transcorrido este período mudas de 10 diferentes espécies arbóreas de cerrado foram introduzidas na área. Estas mudas foram produzidas em sistema de cultivo protegido e algumas foram recebidas por doação da CESP (Companhia Elétricas do Estado de São Paulo).

**Tabela 2.** Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos da cinza, considerando os critérios adotados para calcários pela legislação brasileira.

Fração granulométrica		Taxa de Reatividade (RE)
Peneira (n) (ABNT)	Dimensão (mm)	(%)*
Maior que 10	Maior que 2	0
10 – 20	2 – 0,84	20
20 – 50	0,84 – 0,30	60
Menor que 50	Menor que 0,30	100

Nota: \* Percentual do corretivo que reage em 3 meses, em condições ideais de umidade.

Fonte: Unesp (2015)

**Tabela 3.** Análise química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

Parâmetro	Unid.	Resultados	Parâmetro	Unid.	Resultados
pH (em água 1:10)	---	5,2	Boro	mg kg <sup>-1</sup>	<3,2 <sup>2</sup>
Umidade, a 60-65°C	% (m m <sup>-1</sup> )	3,2	Cádmio	mg kg <sup>-1</sup>	<0,4 <sup>2</sup>
Sólidos Totais	% (m m <sup>-1</sup> )	95,2	Cálcio	g kg <sup>-1</sup>	5,3
Sólidos Voláteis	% (m m <sup>-1</sup> )	48,7	Chumbo	mg kg <sup>-1</sup>	3,4
Carbono Orgânico	g kg <sup>-1</sup>	570	Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	21,1
N Kejldahl	g kg <sup>-1</sup>	6,1	Cromo	mg kg <sup>-1</sup>	12,5
N Amoniacal	mg kg <sup>-1</sup>	220	Enxofre	g kg <sup>-1</sup>	0,24
N Nitrato-Nitrito	mg kg <sup>-1</sup>	421	Ferro	mg kg <sup>-1</sup>	1540
Bário	mg kg <sup>-1</sup>	25,7	Fósforo	g kg <sup>-1</sup>	0,86
Sódio	mg kg <sup>-1</sup>	18,0	Magnésio	g kg <sup>-1</sup>	1,1
Potássio	mg kg <sup>-1</sup>	1617	Manganês	mg kg <sup>-1</sup>	182
Arsênio	mg kg <sup>-1</sup>	<1,0 <sup>2</sup>	Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	<0,9 <sup>2</sup>
Selênio	mg kg <sup>-1</sup>	<1,0 <sup>2</sup>	Níquel	mg kg <sup>-1</sup>	<2,4 <sup>2</sup>
Mercúrio	mg kg <sup>-1</sup>	<1,0 <sup>2</sup>	Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	12,4
Alumínio	mg kg <sup>-1</sup>	1710			

Fonte: Adaptado de IAC (2013).

O espaçamento de plantio foi 4,0 x 5,0 m e as espécies utilizadas foram: Jatobá-do-Cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*), Angico-do-Cerrado (*Anadenanthera falcata*), Baru (*Dipteryx alata*), Monjoleiro (*Acacia polyphylla*), Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott), Ipê-do-Cerrado (*Tabebuia caraíba*), Mangaba (*Hancornia speciosa*), Araçá (*Psidium*

*guineense*), Canudo-de-Pito (*Mabea fistulifera*) e Pimenta-de-Macaco (*Xylopia aromatica*), possibilitando o plantio de 1.080 mudas para compor o experimento (Figura 5).

Logo após o plantio, as mudas foram irrigadas (caminhão pipa e mangueira), para evitar morte durante o período de estiagem comum na região. Após 30 dias, as mudas que não sobreviveram foram substituídas por mudas reservas e após 24 meses as plantas foram avaliadas para altura e diâmetro do colo, com auxílio de régua e paquímetro.

As amostras para caracterização química do solo e avaliações microbiológicas foram coletadas, nas profundidades de 0-0,20 m, amostras compostas de 5 amostras simples, por repetição. As amostras indeformadas para a avaliação da densidade, macro e microporosidade e porosidade total do solo foram coletadas nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

**Figura 5.** Área experimental (a) introdução das mudas e (b) irrigação.

(a)



(b)



Fonte: Unesp (2011)

A caracterização química do solo coletado seguiu a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Para densidade, porosidade, macro e micro porosidade, foram coletadas amostras indeformadas em anéis tipo Kopecky, as amostras foram saturadas e pesadas, levadas a mesa de tensão e também pesadas, colocadas para secar em estufa a 105 °C e novamente pesadas segundo metodologia proposta pela Embrapa (2011). Para quantificação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado e contagem de esporos de FMA foi utilizada a metodologia como anteriormente descrito.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, sendo os tratamentos composto de 3 doses de macrófitas (MC) (0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e 4 doses de cinza (CZ) (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos, com 3 repetições (Tabela 4), totalizando 36 amostras por profundidade, estabelecidos em parcelas de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>), separadas por faixas de 5 m de largura.

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre os atributos avaliados, os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de

Tukey ao nível de 5% de probabilidade, ou por meio de regressão, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011). As variáveis foram comparadas pela correlação de Pearson. Foi realizada, ainda, uma análise de agrupamentos para altura e diâmetro das plantas, que constitui uma metodologia numérica multivariada, com o objetivo de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos (REGAZZI, 2001; GURGEL, 2003).

**Tabela 4.** Descrição dos tratamentos gerados pela combinação das doses de Macrófitas (MC) e Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CZ).

Tratamentos	MC t ha <sup>-1</sup>	CZ t ha <sup>-1</sup>
T1	0	0
T2	0	15
T3	0	30
T4	0	45
T5	16	0
T6	16	15
T7	16	30
T8	16	45
T9	32	0
T10	32	15
T11	32	30
T12	32	45

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização inicial da área (Tabela 5) mostrou o estado de degradação em que se encontrava a área, com as características físicas do solo comprometidas, além de baixas fertilidade e atividade microbiana. Estas informações justificam a difícil regeneração natural da área e confirma a importância da intervenção humana para reduzir o período de recuperação dessa área degradada.

**Tabela 5.** Caracterização inicial da área, valores das médias, desvio padrão (SD), coeficientes de variação (CV), mínimo e máximo para densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, fertilidade, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e quantificação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado

Propriedades do Solo	Média	SD	CV(%)	Mínimo	Máximo
<b>Densidade (g cm<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	1,45	0,12	8	1,30	1,64
0,10 - 0,20 m	1,47	0,20	14	1,21	1,92
<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,11	3,23	29	0,06	0,16
0,10 - 0,20 m	0,11	5,27	46	0,06	0,22
<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,38	4,47	12	0,30	0,43
0,10 - 0,20 m	0,37	6,62	18	0,22	0,44
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,47	3,77	8	0,42	0,54
0,10 - 0,20 m	0,48	3,68	8	0,44	0,54
<b>Fertilidade</b>					
pH	4,50	0,00	0	4,50	4,50
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,48	0,14	28	0,30	0,80
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,40	0,64	46	1,00	3,00
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,20	0,32	27	1,00	2,00
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,40	1,12	21	4,00	7,00
MO (g dm <sup>-3</sup> )	9,60	0,90	9	8,00	10,00
P (mg dm <sup>-3</sup> )	3,20	0,32	10	3,00	4,00
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,11	0,11	8	0,09	0,12
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	0,62	0,06	10	0,50	0,70
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	2,20	0,32	15	2,00	3,00
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	12,22	2,50	20	9,00	16,40
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,06	0,05	80	0,00	0,1
<b>Esporos (nº x 100 g solo seco)</b>					
0,00 - 0,20 m	3,60	2,72	75	0,00	7,00
<b>C-CO<sub>2</sub> liberado (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>					
0,00 - 0,20 m	0,46	0,73	159	0,00	2,75

Fonte: Elaboração do autor.

A análise granulométrica da cinza a seco (Tabela 2) demonstrou que 98,57% do resíduo passa em peneira de 2 mm; 94,86% em peneira de 0,85 mm; 95,63% em peneira 0,59 mm e 64,31% em peneira 0,30 mm. De acordo com a portaria nº 03, de 12 de junho de 1986 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, os corretivos de acidez do solo tem que passar 100% em peneira de 2 mm, ABNT-10; 70% em peneira de 0,84 mm, ABNT-20 e 50% em peneira de 0,30 mm, ABNT-50, sendo permitida tolerância de 5% em peneira ABNT-10.

Assim, o valor encontrado para a peneira de 2 mm foi o que mais se aproximou do recomendado, enquanto que para a peneira de 0,84 mm os resultados ultrapassaram 94,86%. O recomendado seria passar 70% e para a peneira de 0,30 mm o recomendado seria 50%, mas passaram 64,31%. As duas peneiras excederam os 5% de tolerância, mostrando que a cinza é mais fina que os limites indicados para os corretivos da acidez do solo. Este seria um indicativo para alta reatividade da cinza (ALCARDE, 1992).

#### **4.1 Propriedades físicas**

Analisando os dados da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, após 24 meses da instalação do experimento (Tabela 5) constata-se que não houve influencia significativa a aplicação da macrófitas sobre esses atributos, o que poderia ser explicado pela total mineralização das macrófitas ao longo deste período. Taboada-Castro et al. (2009) atribuíram a rápida mineralização da MO às altas temperaturas da região e mencionam a importância do manejo e retorno dos resíduos culturais ao solo e conseqüentemente aos processos e mecanismos que envolvem a agregação. No mesmo sentido, Hati et al. (2007) relatam uma forte relação entre a degradação física do solo e o declínio no teor da MO.

Considerando a caracterização inicial da área (Tabela 5), em relação à profundidade houve um aumento na macroporosidade e porosidade total e redução da microporosidade e densidade do solo após 24 meses da instalação do experimento. A macroporosidade e porosidade total foram maiores (0,15 e 0,52 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), respectivamente em profundidade (0,10 - 0,20 m), o que é corroborado pela menor densidade e microporosidade 1,33 kg m<sup>-3</sup> e 0,36 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 6). Bittencourt et al. (2012), estudando diferentes doses de resíduo (lodo de esgoto), também verificaram uma redução da microporosidade e o aumento da

macroporosidade ao longo do tempo, constatando que a elevada microporosidade pode ser considerada indicativo de solo degradado.

**Tabela 6.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para macroporosidade (MACR), microporosidade (MICR), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com espécies arbóreas nativas do cerrado.

Tratamentos	MACR	MICR	PT	DS
	----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----			(kg m <sup>-3</sup> )
<b>Profundidade (PR)</b>				
0,00 - 0,10 (m)	0,13 b	0,37	0,50 b	1,37 b
0,10 - 0,20 (m)	0,15 a	0,36	0,52 a	1,33 a
<b>Macrófitas (MC)</b>				
0 t ha <sup>-1</sup>	0,13	0,35	0,51	1,36
16 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,37	0,51	1,35
32 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,38	0,52	1,34
<b>Cinza (CZ)</b>				
0 t ha <sup>-1</sup>	0,12	0,37	0,49	1,43
15 t ha <sup>-1</sup>	0,16	0,37	0,52	1,35
30 t ha <sup>-1</sup>	0,13	0,39	0,51	1,30
45 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,36	0,51	1,31
<b>Valores de F</b>				
PR	15,263**	2,435 <sup>ns</sup>	5,840*	7,179**
MC	0,320 <sup>ns</sup>	1,491 <sup>ns</sup>	1,268 <sup>ns</sup>	1,381 <sup>ns</sup>
CZ	10,400**	4,083**	5,250**	17,144**
MC x CZ	1,776 <sup>ns</sup>	0,448 <sup>ns</sup>	1,446 <sup>ns</sup>	2,392*
PR x MC	1,179 <sup>ns</sup>	0,775 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>	0,407 <sup>ns</sup>
PR x CZ	0,513 <sup>ns</sup>	0,293 <sup>ns</sup>	0,086 <sup>ns</sup>	0,390 <sup>ns</sup>
PR x MC x CZ	0,206 <sup>ns</sup>	0,332 <sup>ns</sup>	0,329 <sup>ns</sup>	0,932 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	29	9	8	8

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Unesp (2015)

Avaliando um solo em área de cerrado natural, Souza e Alves (2003) encontraram densidade do solo de 1,17 kg dm<sup>-3</sup> (0,00 - 0,10 m), 1,30 kg dm<sup>-3</sup> (0,10 - 0,20 m) e macroporosidade de 0,26 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (0,00 - 0,10 m) e 0,20 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (0,10 - 0,20 m), resultado semelhante ao obtido no presente estudo foi encontrado no valor da densidade do solo 1,30 kg dm<sup>-3</sup> na profundidade (0,10 - 0,20 m) (Tabela 6).

Kitamura et al. (2008) também avaliou solo em área de cerrado natural encontrando microporosidade do solo de 0,24 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (0,00 - 0,10 m), 0,22 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (0,10 - 0,20 m) e porosidade total de 0,40 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> em ambas profundidades, os resultados obtidos (Tabela 6) mostram que a microporosidade da área estudada esta 64% maior na profundidade (0,00 -

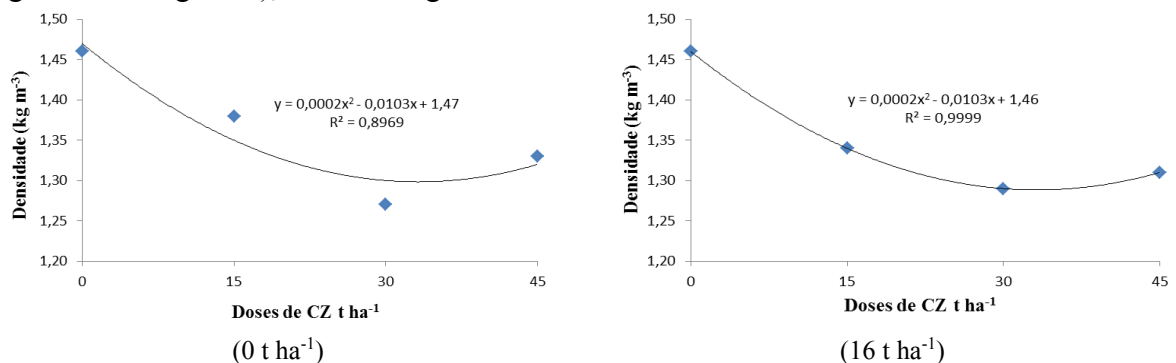
0,10 m) e 61% (0,10 - 0,20 m) em comparação ao solo natural de cerrado, superando os valores citados por estes autores.

Áreas consideradas em estágio avançado de degradação, com densidades na faixa de 1,6 a 1,8 kg dm<sup>-3</sup> e macroporosidade abaixo de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, segundo Secco et al. (2005), podem impedir o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Com isso, os resultados obtidos no presente estudo demonstram que, após 24 meses, área esta mais propícia ao desenvolvimento da vegetação.

A aplicação de cinza influenciou positivamente a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total e a densidade do solo (Tabela 6), com comportamento linear decrescente para densidade do solo ( $y^{**} = 1,4139 - 0,0027 x$ ,  $R^2 = 0,80$ ). Para a macroporosidade, microporosidade e porosidade total o comportamento foi quadrático apresentado para macroporosidade ( $y^* = 12,5213 + 0,1331 x - 0,0024 x^2$ ,  $R^2 = 0,21$ ), ponto de máximo em 27,73 t ha<sup>-1</sup> de cinza, para microporosidade ( $y^* = 37,0701 + 0,0656 x - 0,0016 x^2$ ,  $R^2 = 0,21$ ) ponto de máximo em 20,5 t ha<sup>-1</sup> e para porosidade total ( $y^{**} = 49,5906 + 0,1987 x - 0,0039 x^2$ ,  $R^2 = 0,70$ ) ponto de máximo em 25,47 t ha<sup>-1</sup>.

Para a densidade do solo houve interação significativa da aplicação dos resíduos (Tabela 6), cujo desdobramento mostra que tanto na dose 0 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas como na presença de 16 t ha<sup>-1</sup> a densidade do solo respondeu à incorporação de cinza com comportamento quadrático, sendo para dose 0 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas ponto de mínimo em 33,4 t ha<sup>-1</sup> cinza e para 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas ponto de mínimo em 32,90 t ha<sup>-1</sup> cinza (Figura 6). As doses 33,4 e 32,90 t ha<sup>-1</sup> indicam a ocorrência da menor densidade. Na presença de 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas a aplicação de cinza não influencia a densidade do solo.

**Figura 6.** Equação de regressão entre densidade do solo e doses de cinza de bagaço da cana-de-açúcar aplicada na dose 0 e 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.



Fonte: Dados do próprio autor.

Com a incorporação de cinza nas doses 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>, a incorporação de macrófitas não promoveu alteração na densidade do solo, porém na dose 0 t ha<sup>-1</sup> de cinza a densidade do solo foi superior e influenciada pelas doses de macrófitas, com comportamento linear e decrescente ( $y^* = 1,4794 - 0,002743 x$ ,  $R^2 = 0,74$ ).

A maior densidade na superfície (0 - 0,10 m), menor macroporosidade e maior porosidade total (Tabela 6), podem ser explicadas pelo tráfego de veículos utilizado na irrigação da área, além da possibilidade de reorganização das partículas da camada mais superficial do solo. De acordo com Guimarães et al. (2013) o tráfego de máquinas associado à perda de matéria orgânica podem produzir efeitos adversos sobre a qualidade física do solo resultando, invariavelmente, em compactação (BATEY, 2009).

#### **4.2. Propriedades químicas**

Transcorridos 24 meses, ao analisar os dados de fertilidade (Tabela 7) constata-se que houve influência significativa da aplicação da macrófitas sobre S, Cu e K, o que pode estar relacionado à composição das mesmas, e conseqüente liberação de nutrientes ao solo (Tabela 1), o fato de ter encontrado significância em apenas três nutrientes pode estar relacionada com a rápida mineralização da MO. Segundo Suzuki e Alves (2006), trabalhando com recuperação de áreas degradadas por construção civil, após um ano de implantação dos adubos verdes, não observaram efeitos das coberturas do solo no incremento de seus atributos químicos devido à rápida decomposição dos resíduos. Da mesma forma Carvalho et al. (2004) afirma que no Cerrado brasileiro, bem como nas demais regiões tropicais, observa-se a rápida mineralização da MO, causada pelas elevadas temperatura e umidade durante boa parte do ano, impossibilitando adequada reposição de nutrientes ao solo.

Conduzindo um experimento com utilização de macrófitas aquáticas coletada em reservatório e aplicadas em solos degradados, Antunes (2004) constatou efeitos positivos nas concentrações da P, MO, Ca, Mg, K e pH. Nesse mesmo sentido, Yamauchi (2014), avaliando os efeitos da incorporação de macrófitas aquáticas em Taiuva, SP, relatou aumentos significativos nos teores de MO, K e Co.

Sampaio e Oliveira (2005), trabalhando com adubação utilizando macrófitas e esterco, mencionam grande incorporação de nutrientes ao solo que resultaram em produção de grãos de milho, em média, as produções em solo adubado com macrófitas foi maior que o

adubado com esterco de curral, possivelmente porque a massa das macrófitas libera nutrientes mais rapidamente.

Merenda et al. (2011) observaram valores significativos para N, K, Ca, Mg, Co, Fe e Mn para macrófitas coletadas no reservatório de Aimorés e aplicadas em área degradada.

**Tabela 7.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para fertilidade do solo nos tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com espécies arbóreas nativas do cerrado.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	MO	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	.....mmolc dm <sup>-3</sup> .....					g dm <sup>-3</sup>			.....mg dm <sup>-3</sup> .....			
<b>Macrófitas (MC)</b>														
0 t ha <sup>-1</sup>	4,42	1,00	0,63 b	3,50	1,50	5,25	32,95	8,25	4,92 b	0,04	0,56 b	3,17	9,04	0,12
16 t ha <sup>-1</sup>	4,46	1,00	0,73 b	4,58	1,67	4,83	34,48	8,92	6,75 a	0,05	0,65 a	4,00	10,86	0,18
32 t ha <sup>-1</sup>	4,48	1,00	0,89 a	4,50	1,83	4,17	34,43	8,83	6,66 a	0,04	0,63 b a	3,58	9,52	0,12
<b>Cinza (CZ)</b>														
0 t ha <sup>-1</sup>	4,34	1,00	0,50	2,33	1,11	7,44	33,61	8,44	5,33	0,05	0,60	3,44	9,39	0,10
15 t ha <sup>-1</sup>	4,42	1,00	0,74	4,33	1,67	4,33	34,74	9,22	7,22	0,05	0,67	4,00	10,17	0,12
30 t ha <sup>-1</sup>	4,48	1,00	0,78	4,33	1,67	4,22	34,55	8,88	6,33	0,05	0,63	3,67	10,32	0,21
45 t ha <sup>-1</sup>	4,58	1,00	0,97	5,77	2,22	3,00	32,73	8,11	5,56	0,03	0,56	3,22	9,34	0,12
<b>Valores de F</b>														
<b>MC</b>	1,32 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	9,03*	2,21 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	1,83 <sup>ns</sup>	4,58*	1,70 <sup>ns</sup>	4,12*	2,77 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>
<b>CZ</b>	11,14**	0,001 <sup>ns</sup>	14,46**	9,14**	4,16*	9,53**	1,26 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	2,36 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>
<b>MCxCZ</b>	0,89 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	2	0	21	33	40	39	7	11	27	34	14	24	22	30

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

O fator que pode explicar as diferenças na absorção de nutrientes está relacionado às características do corpo hídrico de origem das macrófitas coletadas e ao tempo de residência do efluente. A vazão do corpo hídrico influenciando o processo de absorção de nutrientes e de sedimentação de material particulado, também foi reportado por Henry-Silva e Camargo (2008).

Os teores de P no solo diminuíram ao longo do tempo de 3,20 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 5) para 1,00 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 7), indicando consumo/imobilização de P pelas plantas e pelos micro-organismos durante o processo de decomposição do material orgânico (SILVA; MENDONÇA, 2007). A redução observada, transcorridos os 24 meses de condução do experimento, pode ser explicada pela baixa quantidade inicial de fósforo na composição dos resíduos utilizados (Tabela 1 e 3) e pela imobilização de P pelos micro-organismos do solo. Imobilização de fósforo também foi observada por Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), mas que a disponibilização de nutrientes ocorre após a morte e decomposição destes micro-organismos.

A adição de cinza ao solo influenciou significativamente pH, Ca, Mg, Al e K com comportamento linear e crescente para o pH ( $y^{**} = 4,3422 + 0,0050 x$ ,  $R^2 = 0,9880$ ), Ca ( $y^{**} = 2,6444 + 0,0688 x$ ,  $R^2 = 0,8884$ ), Mg ( $y^* = 1,1666 + 0,0222 x$ ,  $R^2 = 0,9000$ ), K ( $y^{**} = 0,5300 + 0,0097 x$ ,  $R^2 = 0,9338$ ) e decrescente para Al ( $y^{**} = 6,7666 - 0,0896x$ ,  $R^2 = 0,8388$ ), como pode ser constatado da Tabela 7.

A adição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar ao solo preparado para cultivo agrícola, de acordo com Brunelli e Pisani Jr. (2006), aumentou a capacidade de retenção de água no solo, fornecendo macronutrientes e micronutrientes para as plantas, por ser esta rica em Ca e K. Os autores relataram, ainda, que o resíduo promoveu incremento no pH do solo, nos teores de Mg e na SB quando incorporado em um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura arenosa, o que viabiliza seu uso como insumo agrícola. Resultados semelhantes foram observados no estudo realizado (Tabela 7).

Comparando a aplicação de doses de cinza do bagaço da cana-de-açúcar e o trato convencional para a cultura do milho (com realização de calagem e de adubação), Feitosa, Maltoni e Silva (2009) constataram aumentos nos valores de pH e nos teores de Ca e de SB do solo, assim como reportaram incrementos nos teores de K no solo para as doses 30, 60 e 90 t ha<sup>-1</sup> de cinza, comparado à adubos minerais. Assim como pode ser verificado na Tabela 7, os autores acima reportaram que, para a cultura do milho nas condições estudadas, a adubação química pode ser substituída pela aplicação de cinza nas doses de 60 ou 90 t ha<sup>-1</sup>.

A aplicação de diferentes doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho, segundo Volante (2013), não alterou os atributos químicos do solo, independente das doses aplicadas, exceto para os teores de K e Mg. A utilização de cinza, de acordo com Pita (2009), pode mostrar resultados bem variados, pois a sua composição muda de acordo com as características do material que lhe deu origem.

O K é o nutriente presente em maior proporção na constituição da cinza (Tabela 3). Adicionalmente, esse elemento apresenta alta solubilidade, como relatado em cinza de madeira (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008; DEMEYER; NKANA; VERLOO, 2001), fazendo com que a disponibilidade do K presente no resíduo seja praticamente igual à de fertilizantes potássios (ERICH, 1991; OHNO, 1992). Esses fatores justificam os aumentos dos teores de K no solo com o incremento das doses aplicadas de cinza.

Efeitos mais destacados nos atributos químicos do solo em decorrência da aplicação de cinzas foram observados por Ferreira, Fageria e Didonet (2012). Os autores avaliaram a influência da adição de cinza em um Latossolo de textura argilosa cultivado sob sistema de produção orgânica, no qual o solo tem sido mantido com cobertura de leguminosa, seguido pelas culturas de arroz e feijão. Os tratamentos consistiram de diferentes fontes (cinza de bagaço de cana e compostos formados pela mistura das cinzas oriundas da queima do bagaço de cana e de subprodutos bovinos) e doses (0; 5; 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>) aplicadas no verão, anteriormente a instalação da cultura do arroz.

A análise do solo na profundidade de 0-0,20 m, efetuada cerca de 4 meses após a adição das cinzas, mostrou que doses crescentes possibilitaram aumento do pH, da saturação de bases e dos teores de Mg, P e K, além de reduzir a acidez total do solo (H+Al). Ferreira, Fageria e Didonet (2012) relataram uma tendência semelhante em comparação aos dados obtidos no presente estudo, proporcionando uma correção da acidez do solo.

### **4.3 Propriedades biológicas**

Os resíduos adicionados ao subsolo na área de empréstimo foram capazes de proporcionar, em seus dois primeiros anos de desenvolvimento, um ambiente mais favorável ao desenvolvimento de micro-organismos, como pode ser observado por meio dos valores do C-CO<sub>2</sub> liberado elevaram, de 0,46 (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) (Tabela 5) obtido na caracterização inicial da área para 4,4 (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) após 24 meses (Tabela 8). Machado et al. (2014) utilizando macrófitas adicionadas ao solo degradado em área semelhante ao presente estudo

também verificaram alterações na comunidade microbiana, com incrementos na respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub> liberado). Estudos também em subsolo foram relatados por Calgaro et al. (2008) que, estudando o efeito de suplementos químicos e orgânicos para o cultivo de *Stryphnodendron polyphyllum*, observaram as mais altas taxas de atividade respiratória no tratamento com adição de fósforo, nitrogênio e macrófitas aquática (aguapé).

**Tabela 8.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para quantificação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em solo degradado cultivado com espécies arbóreas nativas do cerrado.

<b>Tratamentos</b>	<b>Esporos</b> (n. x 100 g <sup>-1</sup> solo seco)	<b>C-CO<sub>2</sub> liberado</b> (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )
<b>Macrófitas (MC)</b>		
0 t ha <sup>-1</sup>	0,67	3,76
16 t ha <sup>-1</sup>	1,17	3,71
32 t ha <sup>-1</sup>	0,83	5,71
<b>Cinza (CZ)</b>		
0 t ha <sup>-1</sup>	1,44	3,35
15 t ha <sup>-1</sup>	1,55	5,15
30 t ha <sup>-1</sup>	0,33	4,77
45 t ha <sup>-1</sup>	0,22	4,48
<b>Valor de F</b>		
<b>MC</b>	1,167 <sup>ns</sup>	22,898 <sup>**</sup>
<b>CZ</b>	6,778 <sup>**</sup>	8,466 <sup>**</sup>
<b>MC x CZ</b>	1,111 <sup>ns</sup>	7,178 <sup>**</sup>
<b>CV (%)</b>	92	18

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*: significativos a 5%; ns: não significativo.

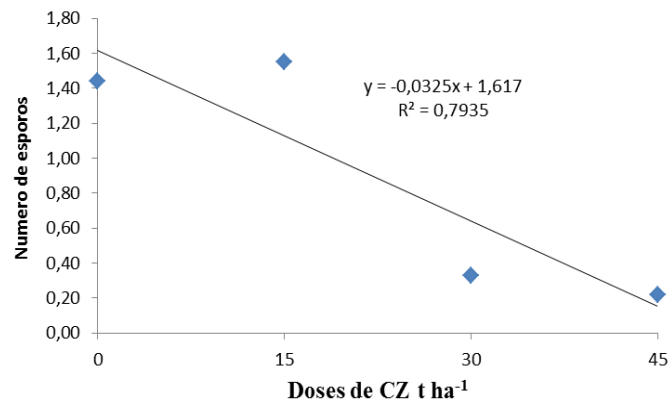
Fonte: Elaboração do autor.

A esporulação dos FMA autóctones não foi observada ao longo dos 24 meses, tendo sido encontrados apenas 3,6 esporos g de solo<sup>-1</sup> seco (Tabela 5) na caracterização inicial da área para 1,6 esporos g de solo<sup>-1</sup> seco (Tabela 8). Com relação aos resíduos adicionados, houve uma resposta significativamente apenas à aplicação da cinza, com comportamento linear e decrescente (Figura 7) e um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7935$ .

Deve-se ressaltar que a área não foi inoculada e apresentava baixíssimo número de esporos autóctones e uma grande heterogeneidade da área em relação à vegetação espontânea, decorrente do estado de degradação da mesma ao longo de décadas. Scabora et al. (2011) avaliando a associação dos FMA no cerrado, em um subsolo exposto e área de pastagem, após um ano do plantio de mudas arbóreas inoculadas com FMA em cova, constataram maior valor

de esporulação de 3,58 esporos 100 g de solo<sup>-1</sup> e menor 2,51 esporos 100 g solo<sup>-1</sup>, valores que não diferem muito dos encontrados no presente estudo.

**Figura 7.** Equação de regressão entre números de esporos de fungos micorrízicos arbusculares do solo e doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CZ) aplicada em solo degradado cultivado com espécies arbóreas nativas do cerrado.



Fonte: Santos (2014)

Os FMA são encontrados em solos degradados e podem interferir na composição, na competição e na sucessão das comunidades vegetais. A maioria das plantas que ocorrem espontaneamente em áreas degradadas apresenta simbiose com FMA e são por eles beneficiadas em seu crescimento e sobrevivência (ALLEN; ALLEN, 1984). No entanto, na área em questão, a baixa fertilidade, quantidade de MO e baixo e heterogêneo crescimento da vegetação espontânea, encontrada nesse subsolo após 24 meses de experimento, pode não ter sido suficiente para estimular o desenvolvimento dos FMA.

Nestas condições é mais comum verificar uma competição por nutrientes entre a planta e os micro-organismos, neste caso, um ambiente pouco favorável a multiplicação dos FMA. Segundo Jasper et al. (1992) em áreas degradadas, a falta de raízes de plantas hospedeiras causa a redução da densidade de propágulos de FMA, tornando necessária a introdução desses fungos ou a adoção de práticas que aumentam a densidade deles

As biomassas de macrófitas mostram teores de fibras relativamente baixos (CORRÊA et al., 2003), conseqüência da forma de crescimento da planta, ou seja, uma planta aquática submersa de rápido crescimento, sem tecidos lenhosos e com alta proporção de água. Essas características conferem aos resíduos destas plantas a possibilidade de rápida decomposição e liberação de nutrientes para a população microbiana decompositora (COOK; URMI-KÖNIG, 1984). Macedo (2004), estudando efeitos da incorporação de macrófitas em

solo degradado, relatou aumentos na atividade microbiana do solo, fator semelhante observado no presente estudo.

A produção de MO e a recuperação da comunidade microbiana do solo e suas relações com a ciclagem e assimilação de nutrientes têm, portanto, papel fundamental nas transformações que equilibram e sustentam ecossistemas (SILVA et al., 2008).

No presente trabalho o C-CO<sub>2</sub> liberado exibiu diferença significativa entre doses e para a interação doses e resíduos (Tabelas 8 e 9). A aplicação de macrófitas ao subsolo influenciou positivamente o C-CO<sub>2</sub> liberado, enquanto a adição de cinza elevou aos valores de todos os atributos analisados.

**Tabela 9.** Desdobramento das interações significativas entre tratamentos, para carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, para os tratamentos de resíduos macrófitas (MC) e cinza (CZ), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.

Trat.	Doses de CZ				Equações	R <sup>2</sup>	Valor F
	0	15	30	45			
Doses de MC	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>			
0 t ha <sup>-1</sup>	2,25 b	5,39	4,26 b	3,14 b	Y <sup>**</sup> = 2,464 + 0,2232x - 0,0047x <sup>2</sup>	0,835	8,72 <sup>**</sup>
16 t ha <sup>-1</sup>	4,18 a	4,58	3,62 b	2,98 b	Y <sup>ns</sup>	--	2,28 <sup>ns</sup>
32 t ha <sup>-1</sup>	3,62 a b	5,47	6,43 a	7,32 a	Y <sup>**</sup> = 3,9030 + 0,0804x	0,835	11,81 <sup>**</sup>
Valor F	4,64 <sup>*</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	10,22 <sup>**</sup>	28,44 <sup>**</sup>			

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*: significativos a 5%; ns: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Para o C-CO<sub>2</sub> liberado, os valores mais elevados foram verificados no tratamento com 32 t ha<sup>-1</sup> de cinza incorporada (Tabela 9). Esta variável apresentou comportamento quadrático na dose 0 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas com ponto de máximo em 23,74 t ha<sup>-1</sup> de cinza. Para 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas o comportamento foi linear e crescente, sendo que a cada 15 t ha<sup>-1</sup> de cinza aplicada ocorre um incremento de 1,206 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> liberado. Na presença de 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas a aplicação de cinza não influencia o C-CO<sub>2</sub> liberado.

#### 4.4. Revegetação

Entre as 10 espécies introduzidas na área experimental, apenas o canudo-de-pito não foi avaliado devido à baixa sobrevivência das plantas em campo, decorrente da invasão de gado ocorrida no experimento, que consumiu preferencialmente esta espécie, ou de animais silvestres que se alimentaram das plantas. De modo geral, a altura das plantas foi favorecida pela incorporação de macrófitas e de cinza ao subsolo (Tabela 10). Pode-se observar que a

doses 16 e 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas não diferem entre si, permitindo sugerir que a menor é suficiente para elevar a altura das plantas, enquanto a incorporação de cinza promove incrementos em altura que foram significativamente influenciados pelo aumento das doses.

**Tabela 10.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para altura das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado

FV	ANG	ARA	BAR	GA	IPE	JAT	MAN	MON	PM
<b>Macrófitas (MC)</b>									
0 t ha <sup>-1</sup>	88,71	67,13	59,39b	53,82b	25,09b	70,85	81,82b	50,45b	40,64b
16 t ha <sup>-1</sup>	116,03	84,83	88,05a	77,19a	47,94a	79,35	101,80a	109,01a	55,37ab
32 t ha <sup>-1</sup>	114,21	76,83	83,05ab	84,30a	47,11a	85,40	99,15a	111,28a	59,84a
<b>Cinza (CZ)</b>									
0 t ha <sup>-1</sup>	72,60	58,90	50,88	44,31	28,71	62,77	85,52	55,04	31,70
15 t ha <sup>-1</sup>	88,14	81,70	63,48	70,61	42,13	67,63	92,29	92,22	53,60
30 t ha <sup>-1</sup>	120,90	78,60	78,33	70,35	38,28	83,15	94,22	90,84	63,88
45 t ha <sup>-1</sup>	143,66	85,87	114,63	99,80	51,06	100,59	105,00	122,90	58,64
<b>Valor de F</b>									
MC	3,552	2,332 <sup>ns</sup>	3,847*	10,066**	6,849**	1,534 <sup>ns</sup>	7,658**	13,768**	4,375*
CZ	11,696**	3,1697*	9,361**	15,250**	2,619 <sup>ns</sup>	6,283**	3,176*	6,685**	6,508**
MCxCZ	0,275 <sup>ns</sup>	1,060 <sup>ns</sup>	1,292 <sup>ns</sup>	1,805 <sup>ns</sup>	1,573 <sup>ns</sup>	1,100 <sup>ns</sup>	0,954 <sup>ns</sup>	0,744 <sup>ns</sup>	0,604 <sup>ns</sup>
CV (%)	27	27	35	24	43	26	14	36	32

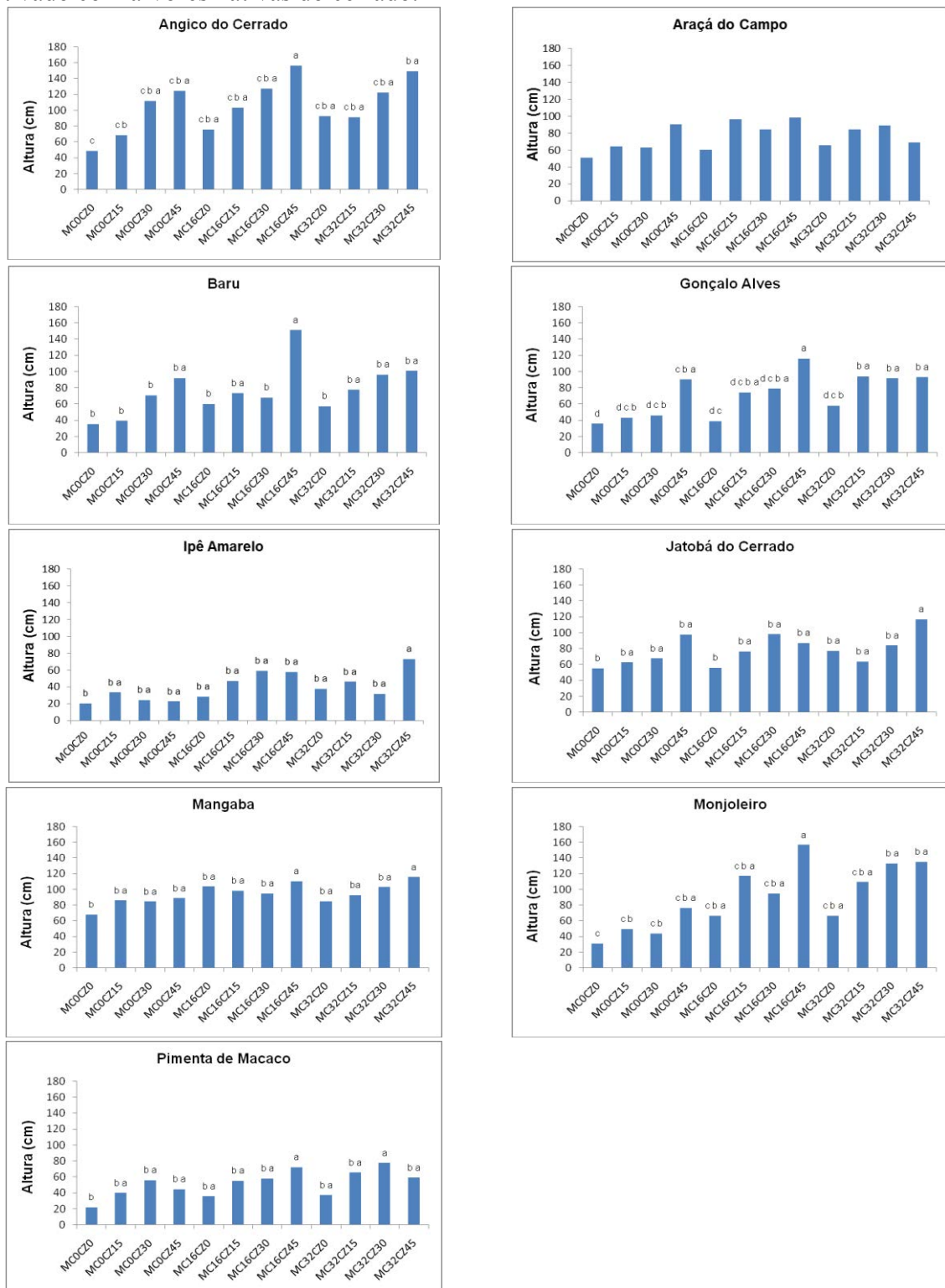
Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo. (ANG: angico do cerrado; ARA: araçá do campo; BAR: baru; GA: gonçalo-alves; IPE: ipê amarelo; JAT: jatobá do cerrado; MAN: mangaba; MON: monjoleiro e PM: pimenta-de-macaco).

Fonte: Elaboração do autor.

A altura das árvores variou de 120,34 a 38,55 cm e os diâmetros variaram de 23,83 a 9,05 mm, mostrando a diferença de desenvolvimento entre as plantas (Tabela 10 e Figura 8). Esta variação deve ser entendida como característica intrínseca de cada espécie. O angico-do-cerrado foi o que apresentou o melhor desempenho na altura entre as espécies utilizadas, o bom desempenho dessa espécie em solos de cerrado havia sido reportado por Garrido (1975). Pereira e Rodrigues (2011), analisando o crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada, verificaram que o angico-do-cerrado, dentre as pioneiras, foi a que conseguiu a maior altura média, dados semelhantes aos encontrados nesse estudo.

Dentre as 10 espécies utilizadas no experimento, o Ipê amarelo foi a espécie que mostrou a menor velocidade de crescimento (Tabela 10). Comparando espécies recomendadas para recuperação de áreas degradadas, Oliveira et al. (2006) também reportou que o desenvolvimento desta espécie normalmente é rápido, ficando as mudas prontas para o plantio em menos de cinco meses, mas que seu crescimento em campo é bem moderado (LORENZI, 1992), corroborando o observado neste experimento.

**Figura 8.** Médias para altura das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.



Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na legenda do eixo x do gráfico MC = macrófitas CZ = cinza, os números estão relacionados com as doses aplicadas, 0, 15, 16, 30, 32 e 45 t ha<sup>-1</sup>.

Fonte: Dados do próprio autor

A incorporação de macrófitas ao subsolo não proporcionou efeitos positivos para altura do araçá e do jatobá, enquanto as demais espécies arbóreas responderam positivamente à adição de macrófitas, com comportamento linear e crescente para angico ( $y^* = 93,5666 + 0,7971 x$ ,  $R^2 = 0,6968$ ), baru ( $y^* = 65,0001 + 0,7395 x$ ,  $R^2 = 0,5972$ ), gonçalo-alves ( $y^{**} = 56,5283 + 0,9526 x$ ,  $R^2 = 0,9135$ ), ipê ( $y^{**} = 29,0376 + 0,6882 x$ ,  $R^2 = 0,7216$ ), mangaba ( $y^{**} = 85,5934 + 0,5415 x$ ,  $R^2 = 0,6373$ ), monjoleiro ( $y^{**} = 59,8301 + 1,9011 x$ ,  $R^2 = 0,7780$ ) e pimenta-de-macaco ( $y^{**} = 42,3561 + 0,5998 x$ ,  $R^2 = 0,9130$ ) (Tabela 10).

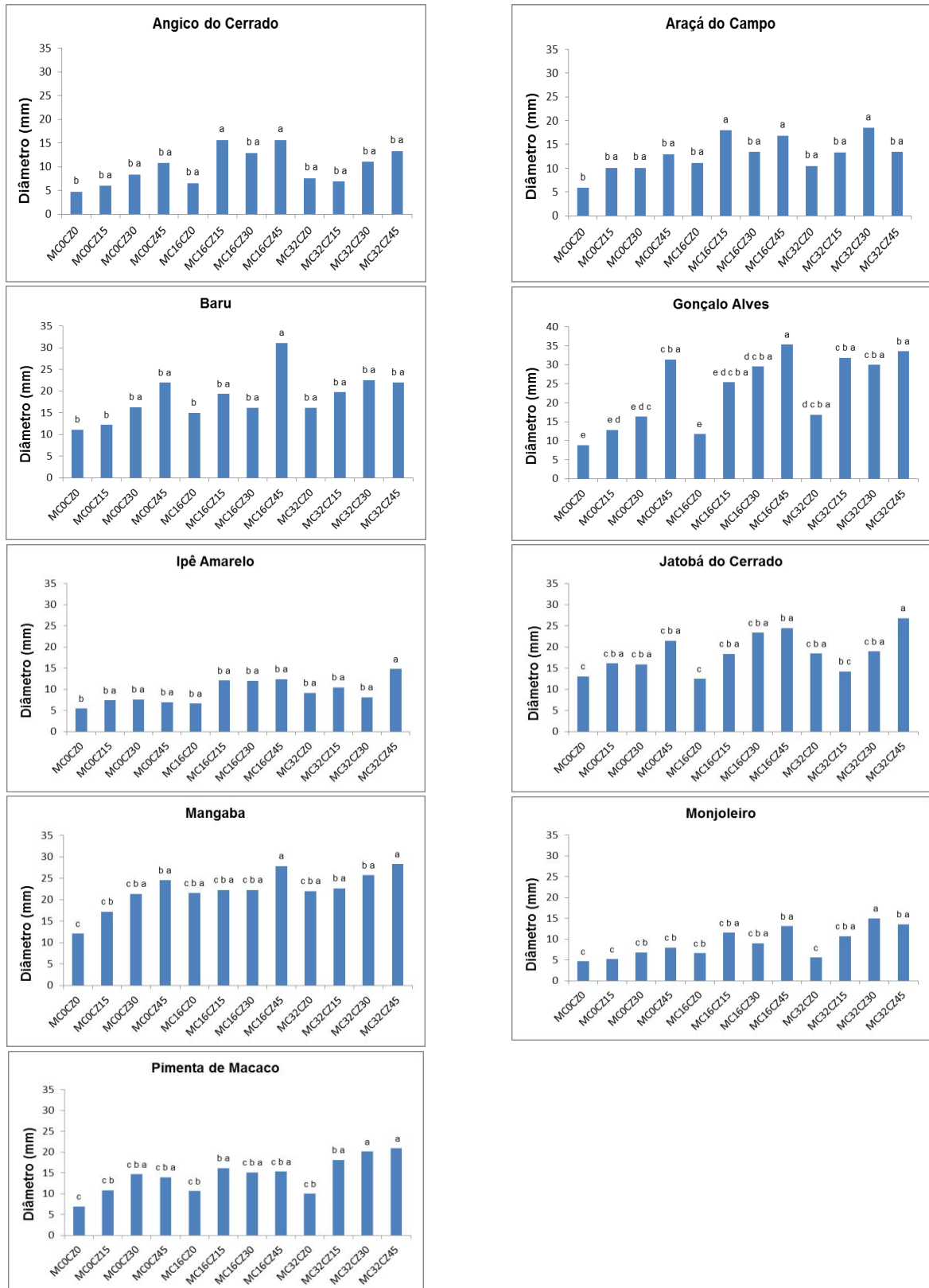
A altura do ipê, diferente das demais espécies, não foi influenciada pelas doses de cinza incorporadas ao subsolo exposto (Tabela 10). A variável mostrou comportamento linear e crescente para: angico ( $y^{**} = 69,4283 + 1,6396 x$ ,  $R^2 = 0,9837$ ), araçá ( $y^* = 64,5948 + 0,5187 x$ ,  $R^2 = 0,7058$ ), baru ( $y^{**} = 45,9222 + 1,3738 x$ ,  $R^2 = 0,9304$ ), gonçalo-alves ( $y^{**} = 46,5400 + 1,1213 x$ ,  $R^2 = 0,9178$ ), jatobá ( $y^{**} = 59,1940 + 0,8596 x$ ,  $R^2 = 0,9504$ ), mangaba ( $y^{**} = 85,2065 + 0,4022 x$ ,  $R^2 = 0,9317$ ), monjoleiro ( $y^{**} = 59,9202 + 1,3480 x$ ,  $R^2 = 0,8849$ ) e pimenta-de-macaco ( $y^{**} = 38,2837 + 0,6075 x$ ,  $R^2 = 0,6917$ ).

O diâmetro das plantas foi favorecido pela aplicação de macrófitas e de cinza (Figura 9 e Tabela 11). Observou-se os maiores valores para ipê amarelo, jatobá do cerrado, mangaba e pimenta-de-macaco no tratamento 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza, enquanto para angico do cerrado, baru e gonçalo-alves ocorreu com 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza. O monjoleiro e o araçá do campo exibiram os maiores diâmetros com 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e 30 t ha<sup>-1</sup> de cinza. Dentre as plantas avaliadas, 44% apresentaram os maiores diâmetros quando aplicadas as doses 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza.

A incorporação de macrófita influenciou positivamente o diâmetro das plantas (Figura 7), com o comportamento linear e crescente para o angico ( $y^* = 8,8439 + 0,0688 x$ ,  $R^2 = 0,1761$ ), araçá ( $y^{**} = 10,7336 + 0,1308 x$ ,  $R^2 = 0,5948$ ), baru ( $y^* = 16,2784 + 0,1471 x$ ,  $R^2 = 0,7023$ ), gonçalo-alves ( $y^{**} = 18,2709 + 0,3345 x$ ,  $R^2 = 0,9154$ ), ipê ( $y^{**} = 7,5168 + 0,1184 x$ ,  $R^2 = 0,7231$ ), mangaba ( $y^{**} = 19,3870 + 0,1835 x$ ,  $R^2 = 0,8948$ ), monjoleiro ( $y^{**} = 6,6280 + 0,1578 x$ ,  $R^2 = 0,9078$ ) e pimenta-de-macaco ( $y^{**} = 11,5543 + 0,1776 x$ ,  $R^2 = 0,9995$ ).

A adição de cinza ao subsolo influenciou significativamente o diâmetro de todas as plantas do experimento (Tabela 11), com comportamento linear e crescente para angico ( $y^{**} = 6,6265 + 0,1475 x$ ,  $R^2 = 0,9753$ ), araçá ( $y^{**} = 10,4377 + 0,1062 x$ ,  $R^2 = 0,6956$ ), baru ( $y^{**} = 13,5285 + 0,2268 x$ ,  $R^2 = 0,9050$ ), gonçalo-alves ( $y^{**} = 13,9168 + 0,4314 x$ ,  $R^2 = 0,9394$ ), ipê ( $y^{**} = 7,5875 + 0,8245x$ ,  $R^2 = 0,7677$ ), jatobá ( $y^{**} = 13,8487 + 0,2129 x$ ,  $R^2 = 0,9494$ ), mangaba ( $y^{**} = 18,2193 + 0,1824 x$ ,  $R^2 = 0,9815$ ), monjoleiro ( $y^{**} = 6,3248 + 0,1257 x$ ,  $R^2 = 0,9161$ ) e pimenta-de-macaco ( $y^{**} = 10,7755 + 0,1609 x$ ,  $R^2 = 0,7719$ ).

**Figura 9.** Médias para o diâmetro das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado plantadas em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico).



Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na legenda do eixo x do gráfico, MC = macrófitas e CZ = cinza, os números estão relacionados com as doses aplicadas, 0, 15, 16, 30, 32 e 45 t ha<sup>-1</sup>.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 11.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para o diâmetro das mudas de espécies arbóreas nativas do cerrado em solo degradado, para os tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), em solo degradado cultivado com árvores nativas do cerrado.

FV	ANG	ARA	BAR	GA	IPE	JAT	MAN	MON	PM
<b>Macrófitas (MC)</b>									
0 t ha <sup>-1</sup>	7,47 b	9,73 b	15,39	17,33 b	6,84 b	16,65	18,80 b	6,16 b	11,59 a
16 t ha <sup>-1</sup>	12,70 a	14,82 a	20,40	25,50 a	10,76 a	19,66	23,48 a	10,08 a	14,32 a b
32 t ha <sup>-1</sup>	9,67 a b	13,92 a	20,10	28,04 a	10,63 a	19,60	24,68 a	11,21 a	17,27 a
<b>Cinza (CZ)</b>									
0 t ha <sup>-1</sup>	6,29	9,15	14,08	12,47	7,07	14,67	18,56	5,63	9,20
15 t ha <sup>-1</sup>	9,48	13,79	17,12	23,36	9,96	16,23	20,73	9,16	15,04
30 t ha <sup>-1</sup>	10,76	13,98	18,31	25,26	9,24	19,40	23,12	10,28	16,62
45 t ha <sup>-1</sup>	13,24	14,39	25,02	33,40	11,38	24,26	26,88	11,54	16,72
<b>Valor de F</b>									
MC	6,246**	6,570**	3,581*	11,492**	6,814**	2,12 <sup>ns</sup>	9,192**	15,078**	9,885**
CZ	5,688**	4,063*	7,256**	20,458**	3,305*	11,396**	9,095**	10,413**	11,541**
MCxCZ	1,080 <sup>ns</sup>	1,267 <sup>ns</sup>	1,292 <sup>ns</sup>	1,494 <sup>ns</sup>	1,320 <sup>ns</sup>	1,733 <sup>ns</sup>	0,926 <sup>ns</sup>	2,231 <sup>ns</sup>	0,871 <sup>ns</sup>
CV (%)	36	29	28	24	31	20	16	26	22

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo. Em que: **ANG**: angico do cerrado; **ARA**: araçá do campo; **BAR**: baru; **GA**: gonçalo-alves; **IPE**: ipê amarelo; **JAT**: jatobá do cerrado; **MAN**: mangaba; **MON**: monjoleiro e **PM**: pimenta de macaco.

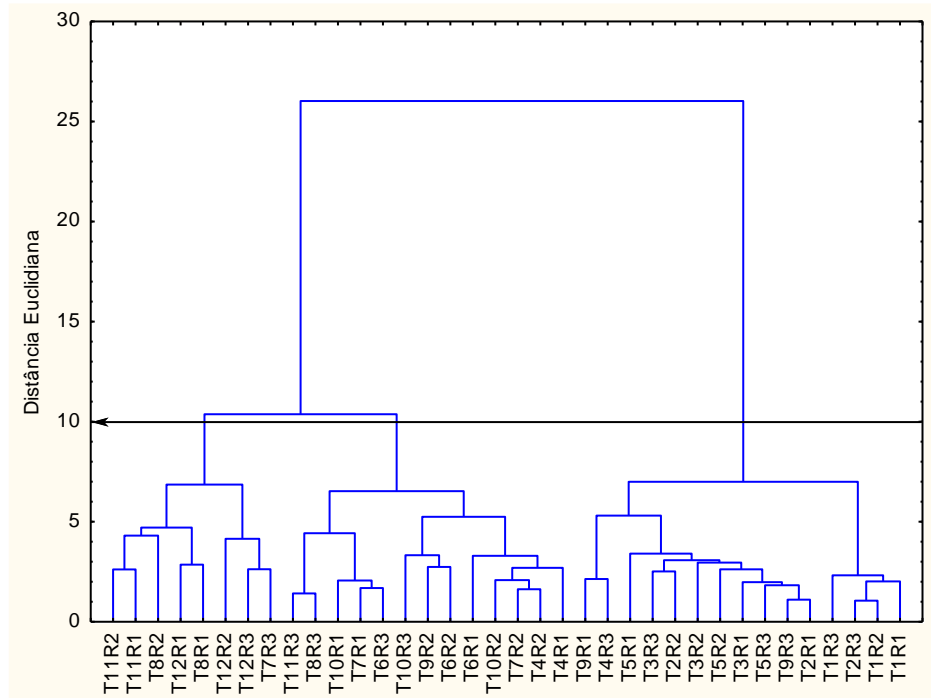
Fonte: Elaboração do autor.

Os dendrogramas obtidos pela análise de agrupamentos (Figuras 10 e 11), mostram variação expressiva nos valores da distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de variáveis consideradas, tornando possível a divisão de grupos. A variação encontrada no presente trabalho foi de 10 para 13 para altura e 10 para 15 para o diâmetro das árvores, permitindo uma divisão exata dos acessos em três grupos.

Essa divisão em grupos mostra um resultado muito importante, a ordenação dos acessos segundo os componentes da altura das árvores (Figura 8). Contendo o agrupamento 1 (T11R2, T11R1, T8R2, T12R1, T8R1, T12R2, T12R3, T7R3) os acessos que possuem os maiores valores, no agrupamento 2 (T11R3, T8R3, T10R1, T7R1, T6R3, T10R3, T9R2, T6R2, T6R1, T10R2, T7R2, T4R2, T4R1) os valores intermediários e no agrupamento 3 (T9R1, T4R3, T5R1, T3R3, T2R2, T3R2, T5R2, T3R1, T5R3, T9R3, T2R1, T1R3, T2R3, T1R2, T1R1) os menores valores dos componentes, segundo os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Para ordenação dos acessos segundo os componentes dos diâmetros das árvores (Figura 9) os agrupamentos se mostraram organizados como segue: agrupamento 1 (T12R3, T7R3, T8R2, T8R1, T6R2, T12R2, T8R3, T4R3) acessos que possuíam os maiores valores, no agrupamento 2 (T12R1, T11R2, T11R1, T10R3, T10R1, T7R1, T6R3, T6R1, T11R3, T10R2, T4R2, T7R2, T4R1) os valores intermediários e no agrupamento 3 (T5R2, T2R3, T9R2, T3R1, T9R1, T9R3, T5R3, T3R2, T2R2, T3R3, T5R1, T2R1, T1R3, T1R2, T1R1) os menores valores dos componentes, segundo atributos físicos, químicos e biológicos do solo

**Figura 10.** Dendrograma resultante da análise de agrupamentos mostra a formação 3 de grupos segundo a altura das árvores, e os Tratamentos analisados. Na legenda do eixo x do gráfico, T = Tratamentos e R = Repetição.



Fonte: Elaboração do autor.

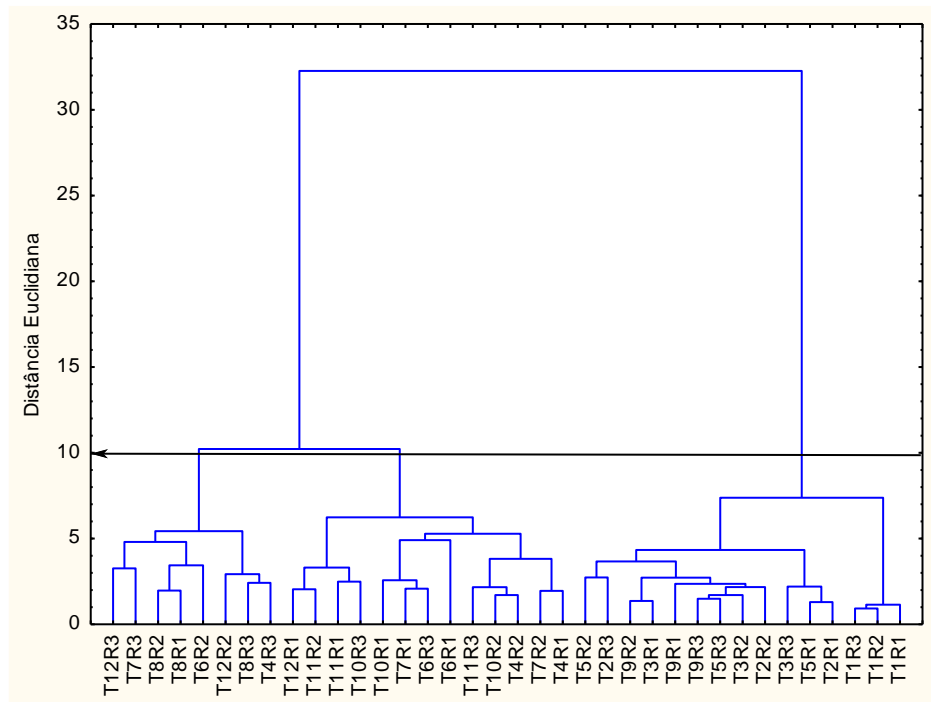
Observa-se nessa análise que o Tratamento 8 ( $16 \text{ ha}^{-1} \text{ MC}$  e  $45 \text{ ha}^{-1} \text{ CZ}$ ) se agrupou tanto para os componentes da altura, como componentes do diâmetro, entre os tratamentos que propuseram o melhor desenvolvimento para as plantas, o que permite sugerir essa dose como suficiente para o crescimento das plantas em altura e diâmetro.

A capacidade de a raiz penetrar e explorar o solo e da planta se desenvolver não dependem apenas da resistência física do substrato, mas também de sua fertilidade (GONÇALVES; MELLO, 2004). A mecanização utilizada no preparo do solo (Figura 12) da área em foco demonstrou ser suficiente para reduzir a densidade, possibilitar a incorporação dos resíduos e proporcionar ambiente mais favorável ao desenvolvimento da cobertura vegetal.

As espécies do cerrado possuem requerimentos ecológicos distintos e respondem diferentemente aos estímulos ou tratamentos (FREITAS, 2004). Tanto para altura quanto para diâmetro das mudas a aplicação dos resíduos selecionados mostrou ação positiva. Acredita-se que, após aprofundamento dos estudos com estes resíduos, eles poderão ser considerados uma alternativa para uso na recuperação de áreas degradadas, com consequente adequação para destinação destes resíduos, sem comprometer o ambiente e contribuindo para o processo de

revegetação e restabelecimento de processos pedológicos e edáficos na camada superficial do subsolo exposto.

**Figura 11.** Dendrograma resultante da análise de agrupamentos mostra a formação 3 de grupos segundo o diâmetro das árvores, e os Tratamentos analisados. Na legenda do eixo x do gráfico, T = Tratamentos e R = Repetição.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 12.** Estado de revegetação da área, após 24 meses do experimento.



Fonte: Unesp (2011).

## 5 CONCLUSÕES

- Houve uma melhora significativa nos atributos físicos e químicos do solo, sendo a densidade do solo a propriedade física mais sensível às alterações.

- O subsolo continua a apresentar baixa fertilidade e o K foi o nutriente que mais respondeu a aplicação de ambos os resíduos. A matéria orgânica proveniente das macrófitas foi mineralizada.

- Os resíduos proporcionaram um ambiente mais favorável aos micro-organismos, observado pelo incremento nos valores do C-CO<sub>2</sub> liberado, apesar da esporulação dos FMA não ter sido influenciada pelos resíduos adicionados ao subsolo.

- O crescimento das espécies arbóreas respondeu significativamente aos tratamentos adotados, especialmente com a adição de 16 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas associadas a 45 t ha<sup>-1</sup> de cinza de bagaço da cana-de-açúcar.

- Os tratamentos adotados estão contribuindo para a revegetação do subsolo exposto.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2 ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, n. 6).
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, 1995. 576 p.
- ALLEN, E. B.; ALLEN, M. F. Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 62, n. 12, p.2625-2629, 1984.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agrossistemas **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p.933-942, 1999.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 2505-2516, 2008.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organics in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p.471- 479, 1989.
- ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 1, p.139-145, 1994.
- 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, 2003.
- ANTUNES, R. F. D. **Efeito da adição de biomassa seca de *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado**. 2004. 45 f. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2004.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p.715-721, 2003.
- AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R.; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems: potential benefits and drawbacks. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 306, n. 1-2, p.181-198, 2008.
- BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. Proxy global assessment of land degradation. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 24, n. 3, p. 223-234, 2008.

- BATEY, T. Soil compaction and soil management: a review. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 25, n.4, p.335-345, 2009.
- 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, 1998.
- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p.315-324, 2012.
- BRIDGEWATER, S., RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F. Biogeographic patterns, b-diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 13, n. 12, p.2295-2317, 2004.
- BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste, 2006. p. 1-9.
- BURGER, J. A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: Rational and example. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p.1674-1678, 1996.
- CALGARO, H. F.; VALÉRIO FILHO, W. V.; AQUINO, S. S.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p.1337-1347, 2008.
- CARDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília, DF: PRONI/MA, 1988. 216 p.
- CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p.47-53, 2004.
- CAVALVANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife, v. 5 e 6, p.180-208, 2008-2009.
- COMPANHIA ELÉTRICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – CESP. **Diretoria de Meio Ambiente e recomposição vegetal**. São Paulo: CESP, 1998. 11 p.
- COOK, C. D. K.; URMI-KÖNIG, K. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 19, n. 1-2, p.73-96, 1984.
- CORRÊA, M. R.; VELINI, E. D.; ARRUDA, D. P. Composição química e bromatológica da *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p.7-13, 2003.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 29-58

CHEN, B.; ROOS, P.; BORGGAARD, O. K.; ZHU, Y.G.; JAKOBSEN, I. Mycorrhiza and root hairs in barley enhance acquisition of phosphorus and uranium from phosphate rock but mycorrhiza decreases root to shoot uranium transfer. **New Phytologist**, Oxford, v. 165, n. 2, p.591-598, 2005.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 77, n. 3, p.287-295, 2001.

DIAS, L. A.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PERIERA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. A. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 40 p.

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p.765-771, 1980.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSAJ, 1994. p. 3-22. (Publication Number 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. p. 13-87.

ERICH, M. S. Agronomic effectiveness of wood ash as a source of phosphorus and potassium. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 20, n. 3, p.576-581, 1991.

FAO. **Soil health: technologies that save and grow**. Roma, 2011.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L.; SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p.2412-2415, 2009.

FERREIRA, C. A. G. **Efeito do uso do solo de horizonte A e do gesso no comportamento de espécies florestais em áreas degradadas pela disposição de resíduo de bauxita.** 2001. 124 f. Tese (Doutorado em Conservação e Manejo de Recursos) - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, E. P. B.; FAGERIA, N. K.; DIDONET, A. D. Chemical properties of an Oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 228-236, 2012.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo.** In: LIER, Q. J. van (Ed.). **Física do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 395-405, 1999.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil.** 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2005.

FREITAS, J. V. **Improving tree selection for felling and retention in natural forest in Amazônia through spatial control and targeted seed tree retention: a case study of a forest management project in Amazonas state, Brazil.** 2004. 190 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland. Aberdeen, 2004.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2 ed. Porto Alegre: Metrópolis, 2008. 654 p.

GARRIDO, M. A. O. Características silviculturais de algumas espécies indígenas sob povoamentos puros e mistos. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 9, p. 63-71, 1975.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root system of trees. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Forest nutrition and fertilization.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais e Estudos Florestais, 2004. p. 223-267.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; BALAREZO GIAROLA, N. F.; DA SILVA, A.P. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 127, p. 92-99, 2013.

GURGEL, H.C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

HATI, K. M.; SWARUP, A.; DWIVEDI, A. K.; MISRA, A. K.; BANDYOPADHYAY, K. K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 119, n. 1-2, p. 127-134, 2007.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p.181-188, 2008.

HENRIQUES, R. P. B. O futuro ameaçado do Cerrado brasileiro. **Ciência Hoje**, São João, v. 33, n. 195, p. 34-39, 2003.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298 f. Tese (Doutorado) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

IRGANG, B. E.; GASTAL JR., C. V. S. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 290 p.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance in native ecosystems – The decline and recovery of infectivity of VA mycorrhizal fungi. In: READ, D. J.; LEWIS, D. H.; FITTER, A. H.; ALEXANDER, L. J. (Ed.). **Mycorrhizas in ecosystems**. Wallingford: CAB International, 1992. p. 151-155.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p.167-177, 1976.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 405-416, 2008.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 821- 832, 2003.

LEITE, L. L.; MARTINS, C. R.; HARIDASAN, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1992. p. 392-399.

LOPES, J. A. V.; QUEIROZ, S. M. P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: Uma resenha crítica. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SIMPÓSIO SULAMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL, 2., Curitiba, 1994. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.75-90.

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

LUTZENBERGER, J. **Em defesa do aguapé**. 1985. Disponível em: <<http://www.fgaia.org.br/texts/t-aguape.html>>. Acesso em: 02 jun. de 2015.

MACEDO, B. R. **Efeito da incorporação de biomassa seca de *Brachiaria arrecta*, *Egeria densa* e *Sagittaria montevidensis* sobre algumas propriedades de um solo sob pastagem degradada**. 2004. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2004.

MACHADO, K. S.; MALTONI, K. L.; SANTOS, C. M.; CASSIOLATO, A.M.R. Resíduos orgânicos e fósforo como condicionantes de solo degradado e efeitos sobre o crescimento inicial de *dipteryx alata vog*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 541-552, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas-princípios e aplicações de fosfato**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MANHÃES, M. S. Adubação, correção do solo e uso de resíduos da agroindústria. In: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ. **Tecnologia canavieira nas Regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes: UFRRJ, 1999. p. 24-31. (Boletim Técnico, 12).

MARTINS, C. R.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungo micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia kunth* em áreas degradadas no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p.665-674, 1999.

MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTOYA, L.; CURCIO, G. R.; RACHWALL, M. F. G.; CAMARGO, C. M. S.; BATTI, A. M. B. Microrganismos e auto-sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1992. p. 440-445.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do cerrado: Check list com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2008. p. 417-1279.

MERENDA, A. M. C. M. P. **Avaliação da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Aimorés, composição química das principais espécies e influencia da incorporação nas características químicas de um solo degradado.** 2011. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MITCHELL, D. S.; PIETERSE, A. H.; MURPHY, K. J. Aquatic plant problems and management in Africa. In: PIETERSE, A. H.; MURPHY, K. J. **Aquatic weeds.** New York: Oxford Science Publications, 1990. p. 341-354.

MITTERMEIER, R. A.; ROBLES, P.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered eco-regions.** Mexico City: Conservation International, 2005.

MIYASAKA, S. C.; HABTE, M. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 32, n. 7-8, p. 1101-1147, 2001.

MONTEIRO, S. N.; RODRIGUEZ, R. J. S.; SOUZA, M. V.; D'ALMEIDA, J. R. M. Sugarcane bagasse waste as reinforcement in low cost composites. **Advanced Performance Materials,** Lancs, v. 5, n. 3, p. 183-191, 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, E. A. S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio-Journal of the Human Environment Research and Management,** Dordrecht, v. 20, n. 6, p. 248-255, 1991.

OHNO, T. Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. **Journal of Environmental Quality,** Madison, v. 21, n. 3, p. 433-438, 1992.

OLIVEIRA, A. K. M.; SCHLEDER, E. D.; FAVERO, S. Caracterização morfológica, viabilidade e vigor de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex. S. Moore. **Revista Árvore,** Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 25-32, 2006.

PAPENDIK, R.; PARRA, J. F. Soil quality: the key to sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture,** Baltimore, v. 7, n. 1/2, p. 2-3, 1992.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology,** London, v. 6, n. 10, p. 763-775, 2008.

PEREIRA, S. J.; RODRIGUES, C. S. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 102-110, 2011.

PINTO, M. A. T.; CAVALCANTI, C. G. B. **Recuperação de lagos tropicais. Biotecnologia no controle da eutrofização em lagos tropicais: a experiência do lago Paranoá.** 2015. Disponível em < <http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio07/lagos.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa.** 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2009.

PRINCIPE, C. R.; KURATANI, H.; MELONI, M. L. B. Impacto da afluência de elódeas na operação e manutenção da usina hidroelétrica Eng. Souza Dias (Jupia) – CESP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SBCPD, 1997. p. 5-8.

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

RAMOS, A. C.; MARTINS M. A. Fisiologia de micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. CARDOSO, E. J. B. N; MUI TSAI, S. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil.** Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

RATTER, J. A., BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 áreas. **Edinburg Journal of Botany**, Cambridge, v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, D. J.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16, 2006. Aracaju, **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. 1 CD-Rom.

REGAZZI, A. J. INF 766 - **Análise multivariada.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exata e Tecnológicas, Departamento de Informática, 2001. 166 p.

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). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2007.

SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Micorriza arbuscular - papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 101-149.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. Aproveitamento da macrófita aquática *Egeria densa* como adubo orgânico. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2005.

SECCO, D.; ROS, C. O. D.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91- 132

SILVA, I. F. da; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, L. C. R.; STERNBERG, L.; HARIDASAN, M.; HOFFMANN, W. A.; MIRALLES-WILHELM, F.; FRANCO, A. Expansion of gallery forests into central Brazilian savannas. **Global Change Biology**, West Sussex, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2008.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 191-199, 2000.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Microbiologia do solo e sustentabilidade agrícola: enfoque em fertilidade do solo e nutrição vegetal. In: REUNIÃO BRASILEIRA EM FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, Manaus, 1996. **Anais...** Manaus: SBCS, 1996. p.1-42.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113, 2001.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 133-153.

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

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Associação micorrízica em espécies arbóreas, atividade microbiana e fertilidade do solo em áreas degradadas de Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 397-408, 2011.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science**, Oslo, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

TABOADA-CASTRO, M. M.; ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; TABOADA-CASTRO, M. T. Revegetation on a removed topsoil: Effect on aggregate stability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, n. 1-6, p. 771-786, 2009.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 10, n. 1, p. 103-116, 1998.

VALCARCEL, R.; D'ALTERIO, C. F. V. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 68-88, 1998.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 101-114, 2000.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 31-48, 1997.

VAN der HEIJDEN, M. G. A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, Washington, v. 79, n. 6, p. 2082-2091, 1998.

VEIGA, M.; BASSIL, L.; ROSSO, A. **Degradação do solo e da água: Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2. ed. Florianópolis, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994. p. 384.

VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 137-47.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VOLANTE, P. R. **Atributos físicos e químicos do solo e desenvolvimento de laranja-pera em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. 2013. 35 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

YAMAUCHI, A. K. F. **Efeito da incorporação de macrófitas aquáticas sobre características químicas de solo degradado**. 2014. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.