

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**KELLIAN KENJI GONZAGA DA SILVA MIZOBATA**

**ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SUBSOLO REVEGETADO E  
CONDICIONADO COM RESÍDUOS, PARA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTE  
DEGRADADO NO CERRADO**

Ilha Solteira  
2017

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**KELLIAN KENJI GONZAGA DA SILVA MIZOBATA**

ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SUBSOLO REVEGETADO E  
CONDICIONADO COM RESÍDUOS, PARA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTE  
DEGRADADO NO CERRADO

Dissertação apresentada à Faculdade  
de Engenharia de Ilha Solteira –  
UNESP como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia. Especialidade: Sistemas  
de Produção.

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Kátia Luciene Maltoni  
**Orientadora**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Mizobata, Kellian Kenji Gonzaga da Silva.

M685a Alterações de atributos físicos de subsolo revegetado e condicionado com resíduos, para recuperação de ambiente degradado no cerrado / Kellian Kenji Gonzaga da Silva Mizobata. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
107 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Kátia Luciene Maltoni

Inclui bibliografia

1. Agregados. 2. Formação do solo. 3. Morfologia. 4. Sobrevivência.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Alterações ocorridas em atributos físicos de subsolo revegetado e condicionado com resíduos para recuperação de área degradada no Cerrado

AUTORA: KELLIAN KENJI GONZAGA DA SILVA MIZOBATA

ORIENTADORA: KATIA LUCIENE MALTONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. KATIA LUCIENE MALTONI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. GLAUCIA AMORIM FARIA

Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu, SP

Ilha Solteira, 06 de março de 2017

### *Dedico*

*meu trabalho a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram com minha jornada acadêmica, sem deixar de destacar aqueles que me proporcionaram a vida, meus pais, Sônia Gonzaga da Silva e Rubens Nobuyuki Mizobata, familiares e ao Diego Paterlini.*

## *AGRADECIMENTOS*

Agradeço a Deus por me trazer à vida com saúde, perseverança, dedicação, responsabilidade, para chegar onde cheguei e continuar a caminhada.

À UNESP/ Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira, os professores e funcionários que contribuíram na minha formação e a CAPES pela bolsa e ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

Aos meus pais Rubens e Sônia, que me ajudaram e me apoiaram durante toda a vida até o presente, principalmente à minha mãe, que sempre esteve comigo e deu o seu melhor na minha educação e de meus irmãos, acompanhando todos os meus passos.

Aos meus irmãos Thiago, Oliver, William, Maria Gabriela, Vanessa, Mariana e Andressa, pelo carinho e amor.

Ao meu namorado Diego, pelo amor, carinho, apoio e cumplicidade durante todo tempo, nas horas difíceis e alegres.

Aos meus avós maternos, Joaquim e Maria, que sempre me incentivaram e apoiaram. Minha avó paterna Tamiko que sente orgulho da neta que está se formando e se realizando profissionalmente, e meu avô Hiroyuki (*in memoriam*) que deve estar orgulhoso e contente de mim em mais esta etapa concluída com sucesso e aprendizagem.

Aos meus tios Jaime, Isabel e Doralice, que me deram apoio, abrigo, carinho e atenção durante esta caminhada.

À todos os meus familiares, que me apoiam e me amam, pois, sem eles não sou nada nem ninguém.

Aos meus amigos e companheiros de campo, Diego, Adriana, Wellington, principalmente a Thaís que sempre me ajudou e apoiou.

E a professora Dra. Kátia L. Maltoni, quem durante toda a graduação e pós-graduação, foi mais que uma orientadora, foi quem me orientou, avaliou e ensinou.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

O Cerrado é um dos biomas brasileiros que apresenta elevada riqueza natural e endemismo de espécies, carece de urgente conservação e/ou recuperação devido acelerada degradação. Muitos estudos sobre recuperação de áreas degradadas vêm sendo conduzidos, no entanto, é necessário aprofundar o entendimento sobre os processos envolvidos na recuperação de uma área, com esclarecimento e conhecimento das técnicas e avaliações que contribuam para melhorar cada vez mais este processo. Dentro deste contexto este trabalho teve por objetivo avaliar os atributos físicos de uma área degradada em recuperação (ADR) após ter sido condicionada com resíduos orgânico (RO) e agroindustrial (RA) e revegetada, utilizando um controle (área degradada sem intervenção - AD) e uma testemunha (fragmento de Cerrado conservado - CER) como parâmetros de referência. O experimento foi desenvolvido na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista, UNESP-Faculdade de Engenharia/campus de Ilha Solteira/SP, em área de subsolo exposto onde existiam Latossolos Vermelhos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial  $3 \times 4 + 2$ , com três doses de RO, quatro doses de RA, e dois tratamentos adicionais, CER e AD, perfazendo um total de 14 tratamentos com 3 repetições e profundidades em parcela subdividida. Os atributos avaliados foram densidade do solo, porosidade (macro e micro) nas camadas de 0,0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m; estabilidade de agregados (0,0 a 0,20 m), resistência a penetração (0,0 a 0,45 m), taxa de infiltração de água no solo, imagens de agregados em microscopia eletrônica (MEV), morfologia de blocos indeformados (0,0 a 0,7 m), bem como carbono orgânico e pH (0,0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m), além de avaliar a sobrevivência das plantas após 04 anos. O conjunto das ações realizadas para melhorar as condições edáficas do subsolo exposto aumentaram a taxa de infiltração da água no solo, a agregação, a estabilidade dos macroagregados, o diâmetro médio ponderado, o carbono orgânico, foram benéficas à arquitetura dos poros e ao pH da ADR, além de reduzir a densidade e resistência do solo a penetração, em relação a AD. Transcorridos 4 anos, o subsolo exposto dá sinais de recuperação por meio de processos pedogenéticos que conduzem a formação de uma nova estrutura.

**Palavras-chave:** Agregados. Formação do solo. Morfologia. Sobrevivência.

## ABSTRACT

The Cerrado is one of the Brazilian biomes that presents the highest natural richness and endemism of species, it needs urgent conservation and/or recovery due to accelerated degradation. Many studies on recovery of degraded areas have been conducted, however, it is necessary a deeper understanding about the processes involved in an area under recovery, with clarification and knowledge of the techniques and evaluations that contribute to improve this process more and more. Under this context, the aim of this research was to evaluate the physical attributes of a degraded area under recovery (ADR) after being conditioned with organic (RO) and agroindustrial (RA) residues and reforested, using two controls AD - degraded area without intervention and CER - fragment of Cerrado conserved both used as references. The experiment was carried out at the São Paulo State University (UNESP), farm of research, teaching and extension (FEPE) of School of Engineering, Ilha Solteira, in a subsoil area where there were Typic Hapludox. With a randomized complete block design in a  $3 \times 4 + 2$  factorial scheme with three RO doses, four RA doses, and two additional treatments, CER and AD, for a total of 14 treatments with 3 replicates and depths in a subdivided plot. The evaluated attributes were soil density, porosity (macro and micro) in the depths from 0,0 to 0,05 m; 0,05 to 0,10 m and 0,10 to 0,20 m; aggregates stability (0,0 to 0,20 m), penetration resistance (0,0 to 0,45 m), water infiltration rate in the soil, aggregate's images in electronic microscopy, morphology of undeformed blocks (0,0 to 0,7 m), as well as organic carbon and pH (0,0 to 0,05 m, 0,05 to 0,10 m and 0,10 to 0,20 m), besides evaluating the survival of plants after 4 years. The set of actions performed to improve the edaphic conditions of the exposed subsoil increased the water infiltration rate in the soil, the aggregation, the stability of the macroaggregates, the weighted average diameter and the organic carbon, were beneficial to the pore architecture and the pH of soil in ADR, in addition to reducing soil density, soil penetration resistance, relatively to AD. After 4 years, the exposed subsoil shows signs of recovery through pedogenetic processes that lead to the formation of a new structure.

**Keywords:** Aggregates. Soil formation. Morphology. Survival.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1	O CERRADO .....	12
2.2	ÁREAS DEGRADADAS .....	12
2.3	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS .....	13
2.4	RESÍDUOS ORGÂNICO E AGROINDUSTRIAL .....	14
2.5	FÍSICA DO SOLO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO .....	15
2.6	HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	16
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20
<b>3</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	25
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25

### CAPÍTULO 1

#### MUDANÇAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SBSOLO EXPOSTO CONDICIONADO COM RESÍDUOS ORGÂNICO E AGROINDUSTRIAL.....

		26
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	26
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	46
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

### CAPÍTULO 2

#### ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM FORMAÇÃO EM SUBSOLO EXPOSTO, COMO RESPOSTA AO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO ESTABELECIDO .....

		51
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	51
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	54
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	73

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>
 <b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>MORFOLOGIA, pH, CARBONO ORGÂNICO E SOBREVIVÊNCIA DE ESPÉCIES NATIVAS DE CERRADO EM SUBSOLO EXPOSTO.....</b>	<b>81</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>83</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>87</b>
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>100</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO A – Análise química dos resíduos para elementos disponíveis e totais.....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>107</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é um dos biomas brasileiros que apresenta elevada riqueza natural e carece de urgente conservação e recuperação, devido a acelerada degradação antrópica que vem sofrendo, uma vez que o homem não mede as consequências, quando em busca por matéria prima mineral, vegetal, energias, etc, e ao mesmo tempo necessita de serviços ecossistêmicos, que os recursos naturais nos oferecem, para sobreviver.

A busca por energias alternativas e limpas é uma necessidade, para o contínuo desenvolvimento tecnológico, industrial e até mundial, no entanto, o homem tem o dever de mitigar os danos causados à natureza e recuperar as áreas que já foram degradadas, considerando a escassez da maioria dos recursos naturais.

Existem muitos trabalhos voltados à recuperação de ambientes degradados, no entanto, cada local tem seu histórico, características e particularidades, e isto influencia na tomada de decisão sobre a escolha do melhor método a ser adotado. No Cerrado, a decisão por um projeto que envolva reflorestamento, para recuperar uma área degradada, dependerá de quão intensa foi a degradação.

Para escolha dos procedimentos é necessário verificar se o solo precisa de fertilização e/ou manejo, além da caracterização da fitofisionomia de espécies, para realizar a seleção adequada, e saber se haverá disponibilidade de sementes e mudas para o plantio. Em algumas situações, os solos presentes em áreas degradadas encontram-se altamente impactados, particularmente em áreas de mineração e junto a grandes empreendimentos, como usinas hidrelétricas-UHE, os maiores causadores de impactos ambientais, uma vez que realizam cortes que removem os horizontes superficiais do solo, expondo um subsolo sem estrutura e condições edáficas suficientes para o restabelecimento da vegetação. No caso da UHE de Ilha Solteira, o subsolo exposto durante a construção permanece sem cobertura vegetal, compactado e sofrendo erosão severa a cada ano.

O processo de recuperação destas áreas é bastante complexo, demanda muito tempo, além do uso de insumos, implementos agrícolas, e por vezes da inoculação para a colonização da área com microrganismos, para na sequência receber a vegetação e, como consequência, ou em ajuda mútua os animais.

Uma alternativa ao uso de insumos são os resíduos, se disponíveis na região, podem representar uma solução. Na região próxima à área experimental, existem dois resíduos interessantes, as macrófitas aquáticas e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, ambos ricos em carbono orgânico e outros elementos. Outra medida importante é a seleção das mudas para

plântio, as espécies nativas aumentam as chances e aceleram o processo de colonização, além de atrair animais e facilitar a entrada de outras espécies do entorno, pois estão adaptadas às condições climáticas da região.

Essas medidas auxiliam no processo, mas a depender do grau de degradação do solo, ele pode demorar milhares de anos para se recuperar ou ainda nunca conseguir retornar ao seu estado inicial, por isso, há necessidade de mais estudos sobre a recuperação do Cerrado e torna-se necessário o conhecimento de técnicas e avaliações que auxiliem nesse processo, para recuperar as extensas áreas degradadas que estão se concentrando, não só no Cerrado, mas pelo mundo inteiro.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O CERRADO

O Cerrado foi classificado como um dos *hotspots* com prioridade de conservação, devido a sua rica biodiversidade (MYERS et al., 2000), é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas, apresenta grande diversidade de habitats, cerca de 199 espécies de mamíferos, a avifauna compreende cerca de 837 espécies, 1200 espécies de peixes, 180 espécies de répteis e 150 de anfíbios. O Cerrado é o refúgio de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos (BRASIL, 2016).

Este bioma é o segundo maior da América do Sul, ocupa uma área de 2.036.448 km<sup>2</sup>, aproximadamente 22% do território nacional. Utilizando estudos de sensoriamento remoto, foi possível estimar que 48,9% de sua cobertura original foi desmatada até 2011, transformando a paisagem, causando degradação, perda da biodiversidade e eliminação de habitats e comunidades por completo. Infelizmente, isto ocorre de modo intenso ainda hoje devido a agricultura, pecuária, a demanda por carvão vegetal para a indústria siderúrgica, bem como de infraestruturas para dar suporte ao desenvolvimento humano e, conseqüentemente, urbano (KLINK; MACHADO, 2005; MYERS et al., 2000; BRASIL 2016).

O desmatamento e outras ações antrópicas de ocorrência na região promoveram diferentes graus de degradação que vão da completa ausência de vegetação a formações secundárias extremamente degradadas (DUBOC, 2005). A degradação, no entanto, pode atingir também o solo e o subsolo, o que produz conseqüências para produção agrícola, qualidade da água, erosão, assoreamento, entre outros (MORAES; JORDÃO, 2002; FERNANDES; PESSÔA, 2011).

### 2.2 ÁREAS DEGRADADAS

Nos municípios de Ilha Solteira/SP e Selvíria/MS existem extensas áreas desprovidas de vegetação e solo, sofrendo erosão severa, estas resultam das obras de construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Ilha Solteira e são, na realidade, de ocorrência comum nas proximidades de grandes obras de engenharia e em áreas de mineração (PEDROL et al., 2010).

No início da década de 60, nesta área havia vegetação nativa de cerrado, mas por ocasião da construção da UHE de Ilha Solteira iniciada em 1965, foram removidos vegetação e solo, com cortes de até 12 m de profundidade, expondo o subsolo, o qual após 50 anos, continua à

superfície e sem cobertura vegetal, fato atribuído ao baixo pH, reduzido conteúdo de carbono orgânico, fertilidade e infiltração de água, elevada densidade, entre outros (RODRIGUES et al., 2007). Esta combinação dificulta o estabelecimento da vegetação, a sobrevivência da fauna e dos micro-organismos do solo, estes últimos extremamente dependentes da prática de manejo e ao clima (DORAN, 2000)

Condições de degradação semelhantes são também relatadas para áreas mineradas e depósitos de rejeitos (OTTENHOF et al., 2007; ZANUZZI et al., 2009). No entorno da UHE de Ilha Solteira estas áreas encontram-se compactadas, devido ao intenso tráfego de máquinas ocorrido durante o período de sua construção, e a infiltração de água encontra-se severamente comprometida, como relatado por Rodrigues et al. (2007), que encontrou taxas de infiltração  $< 2 \text{ cm h}^{-1}$  para estas áreas em comparação com  $60 \text{ cm h}^{-1}$  para uma área de cerrado conservado.

### 2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Para recuperação de áreas com este tipo de comprometimento é necessário criar, no subsolo exposto, condições mínimas, que permitam o estabelecimento da vegetação e também da atividade microbiana, considerando seu desenvolvimento radicular, a infiltração de água no solo, a introdução de matéria orgânica para melhorar a fertilidade, a temperatura, umidade, isto é, o ambiente solo de um modo geral.

O estabelecimento de um processo de recuperação e a manutenção do processo de regeneração natural, ou a combinação dos dois, são métodos utilizados na recuperação de ambientes degradados ou perturbados (MOURA, 2008; CHODAK; NIKLINSKA, 2010; DURIGAN et al., 2011; PINTO et al., 2011;).

A revegetação é uma técnica muito usada na reabilitação de áreas mineradas, com exposição de subsolo (SHRESTHA; LAL, 2008; CHODAK; NIKLINSKA, 2010), para melhorar a cobertura da superfície, aumentar a diversidade de plantas, a atividade microbiológica, incorporar carbono orgânico ao solo e restabelecer a ciclagem de nutrientes (BROWN et al., 2014).

No entanto, o sucesso da revegetação, nestas condições, depende da introdução de material orgânico e do fornecimento mínimo de água (MENDEZ; MAIER, 2008), segundo Wong (2003) para o estabelecimento da vegetação e dos organismos associados, o fornecimento de nutrientes também é necessário.

A recuperação destas áreas tem significativa importância para a redução dos processos erosivos, pois têm gerado muitos sedimentos que estão sendo descarregados em rios da região, bem como para recuperar a estética da paisagem (ERNST, 2005).

Áreas com exposição do subsolo, para sua recuperação demandam a identificação de alternativas que contribuam para que o solo se desenvolva (BROWN, et al., 2014), onde é importante considerar que este é um processo muito lento (MONTGOMERY, 2007; BANWART, 2011; STOCKMANN; MINASNY; MCBRATNEY, 2014;).

Para condicionamento físico e químico do subsolo, o uso de resíduos pode ser uma alternativa com potencial para melhorar as condições edáficas do solo, além de apresentar custo reduzido (BENDFELDT et al, 2001; BROWN et al., 2003; LUNARDI NETO et al., 2008; HEMMAT et al., 2010), pois sua seleção ocorre, normalmente, a partir dos resíduos disponíveis na região.

## 2.4 RESÍDUOS ORGÂNICO E AGROINDUSTRIAL

Resíduos orgânicos como as macrófitas aquáticas (RO), de ocorrência abundante no reservatório da UHE de Jupia, Três Lagoas-MS, de onde precisam ser removidas para evitar a obstrução das unidades geradoras ou de atividades de lazer (VELINI et al., 2005; POMPÊO, 2008), representam uma alternativa para condicionamento do solo, uma vez que contém carbono orgânico e outros elementos.

A utilização deste resíduo e de outros tem sido reportada como benéfica em áreas similares, no que diz respeito à fertilização, ao condicionamento orgânico e microbiológico, favorecendo a revegetação (CALGARO et al., 2008; TRILICA; BROWN, 2013; MACHADO et al., 2014).

Outro resíduo com perspectivas de uso é a cinza (RA), retirada de caldeiras durante o processo de produção de açúcar e álcool. Esta cinza é produzida a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar, e sua produção tem aumentado significativamente nos últimos anos (FREITAS, 2005) com o crescimento da agroindústria, produtora de açúcar e álcool, a produção de cana-de-açúcar passou de 428.000 t em 2007 para 667.000 t em 2016 (UNICA, 2017).

Alguns trabalhos mostram que esta cinza pode ser utilizada como insumo no processo produtivo agrícola, além de ser ambiental e economicamente viável, com indicações positivas para retenção de água no solo, como fonte de macro e micro nutrientes, além de uma tonelada de cinza ser equivalente a 0,5 toneladas de calcário (BRUNELLI; PISANI JÚNIOR, 2006; FEITOSA et al., 2009; BALAKRISHNAN; BATRA 2011; CARRIER et al. 2012).

## 2.5 FÍSICA DO SOLO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Após o condicionamento do subsolo para sua revegetação, cabe uma avaliação dos resultados alcançados, por meio de atributos físicos e químicos, pois existem questionamentos sobre a eficácia dos condicionantes ao longo do tempo (BROWN et al., 2014).

A avaliação da qualidade física do solo é uma ferramenta de análise da extensão da degradação (DEXTER, 2004; MONCADA et al., 2014) e pode contribuir para avaliação do progresso obtido, ou não, com as ações de recuperação de uma área degradada (VIANA et al., 2014; MUKHOPADHYAY et al., 2014).

Vários trabalhos discutem a qualidade do solo, voltados às propriedades físicas do mesmo (MENDES et al., 2006; KITAMURA et al., 2008; ZANUZZI et al., 2009; ASENSIO et al., 2013) e são mencionados como indicadores importantes para avaliação tanto da degradação, quanto da recuperação da qualidade física do solo (DEXTER, 2004; REYNOLDS et al., 2009; MONCADA et al., 2014).

A qualidade do solo tem sido avaliada por meio de atributos do solo é, contudo, uma análise complexa, devido à multiplicidade de inter-relações entre atributos físicos, químicos e microbiológicos, que podem estar controlando os processos de recuperação e sua variação no tempo. Os atributos físicos são bastante utilizados devido ao baixo custo, metodologias simples e rápidas (MENDES et al., 2006).

Densidade, porosidade, estabilidade de agregados, porcentagem de agregados estáveis em água, entre outros são atributos utilizados na avaliação da qualidade física do solo (MENDES et al., 2006; VELASQUEZ et al., 2007; SHRESTHA; LAL, 2008).

Gargiulo et al. (2013) associam a avaliação da estabilidade de agregados com o estudo da estrutura do solo, em amostras indeformadas, nas quais é possível observar detalhes do desenvolvimento estrutural do solo.

Estas avaliações podem contribuir para verificação da morfologia dos poros e das estruturas, além de sua importância no estudo da recuperação de área de subsolo exposto, onde os processos pedogenéticos, podem ou não estar atuando. Reynolds et al. (2008) destaca, ainda, a importância da avaliação do pH e do teor de carbono orgânico no solo, por apresentarem estreita relação com os atributos físicos do solo.

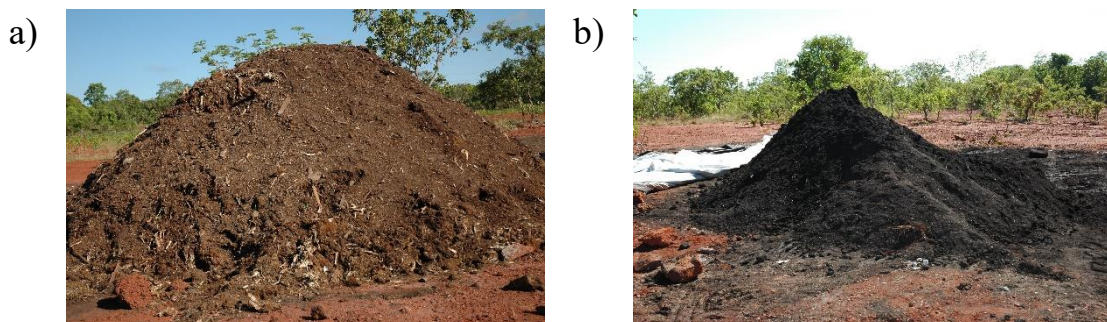
## 2.6 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Em 2011, iniciou-se o desenvolvimento de um projeto, com auxílio financeiro do CNPq (561842/2010-8), para recuperação/reflorestamento de área degradada (ADR) localizada em Selvíria/MS na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia (FEPE) – UNESP/*Campus* de Ilha Solteira. O clima da região é Aw de acordo com classificação Köppen, a média anual de temperatura (23,7 °C) e a precipitação de 1300 mm. O subsolo foi exposto, na década de 60, pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP) e depois de quase 50 anos permanece sem cobertura vegetal.

A ADR possui extensão de 3,4 ha (Latitude 20° 23' 02" S e Longitude 51° 24' 24" O) foi gradeada (grade pesada/0,40 m de profundidade) antes da incorporação de resíduos (RO - macrófitas aquáticas e RA - cinza de caldeira oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar lavada, sem areia e partículas de solo), para rompimento do selamento e revolvimento da camada superficial, a área foi escarificada (0,37 m de profundidade) os resíduos foram distribuídos a lanço, com aplicador de calcário, e incorporados ao solo degradado com grade média (0,30 m).

O RO utilizado, composto principalmente de *Egeria densa* Planch, *Egeria najas* Planch, *Ceratophyllum demersum* L., *Eichhornia azurea* Kunth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms., *Pistia stratiotes* L. e *Typha latifolia* L. (THOMAZ et al., 2008), foi coletado na UHE de Jupiá (Três Lagoas/MS) e permaneceu exposto ao sol durante 120 dias enquanto que o RA, obtido na Usina Alcoolvale: açúcar e álcool S.A., em Aparecida do Taboado/MS, permaneceu exposto ao sol por 30 dias antes da incorporação ao solo (Figura 1).

**Figura 1-** Resíduos expostos ao solo. a: resíduo orgânico (RO). b: resíduo agroindustrial (RA).



Fonte: Própria autora

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 × 4, três doses de RO e quatro doses de RA, com três repetições por tratamento, num total de 12

tratamentos: subsolo exposto com quatro doses de RA (0, 15, 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup>), três doses de RO (0, 16 e 32 Mg ha<sup>-1</sup>) e suas combinações, estabelecidos em 36 parcelas de 20 × 30 m (600 m<sup>2</sup>) cada, as quais foram separadas por faixas de 5 m de largura.

Após o preparo e a incorporação dos resíduos no solo (Nov/2011), a área permaneceu em pousio por 3 meses, em Fev/2012 ocorreu o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas de cerrado, que foram irrigadas semanalmente durante o período mais seco do primeiro ano: Angico do Cerrado (*Anadenanthera falcata*); Araçá do Campo (*Psidium guineense*); Barú (*Dipteryx alata*); Canudo de Pito (*Mabea fistulifera*); Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott); Ipê Amarelo do Cerrado (*Tabebuia caraíba*); Jatobá do Cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*); Mangaba (*Hancornia speciosa*); Monjoleiro (*Acacia polyphylla*); e Pimenta de Macaco (*Xylopia aromatica*) 10 ao todo, introduzidas aleatoriamente, em covas com 0,4 m de profundidade, espaçamento 4,0 × 5,0 m, para permitir o estabelecimento de outras espécies (Figura 2).

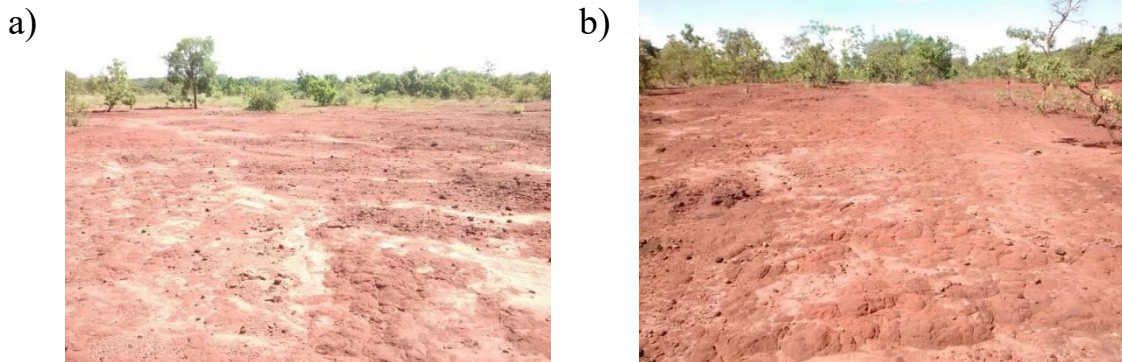
**Figura 2-** Área degradada em recuperação, após o plantio das mudas em 2012.



Fonte: Própria autora

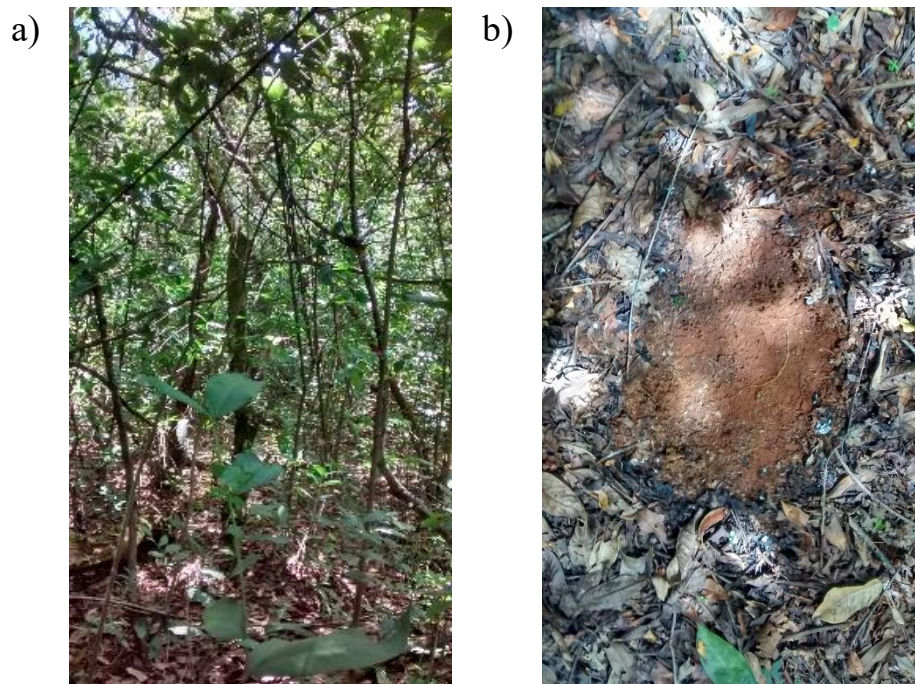
Em 2015, foram incluídos dois tratamentos adicionais, selecionadas uma área degradada que não sofreu nenhuma intervenção (AD) desde a década de 60, contígua à área experimental (Figura 3), e um fragmento de Cerrado conservado (CER) próximo do local (Latitude 20°21' S e Longitude 51°23' W) (Figura 4), ambas pertencentes à FEPE/UNESP, Campus de Ilha Solteira, onde foram demarcadas três parcelas de 5 x 10 m, para realização de uma avaliação comparativa à ADR.

**Figura 3-** Área degradada (AD) desde a década de 60, sem intervenção até hoje. a: deposição de material erodido. b: detalhe da compactação e selamento superficial do subsolo exposto.



Fonte: Própria autora.

**Figura 4-** Testemunha (CER). a: CER. b: solo do CER e serapilheira.



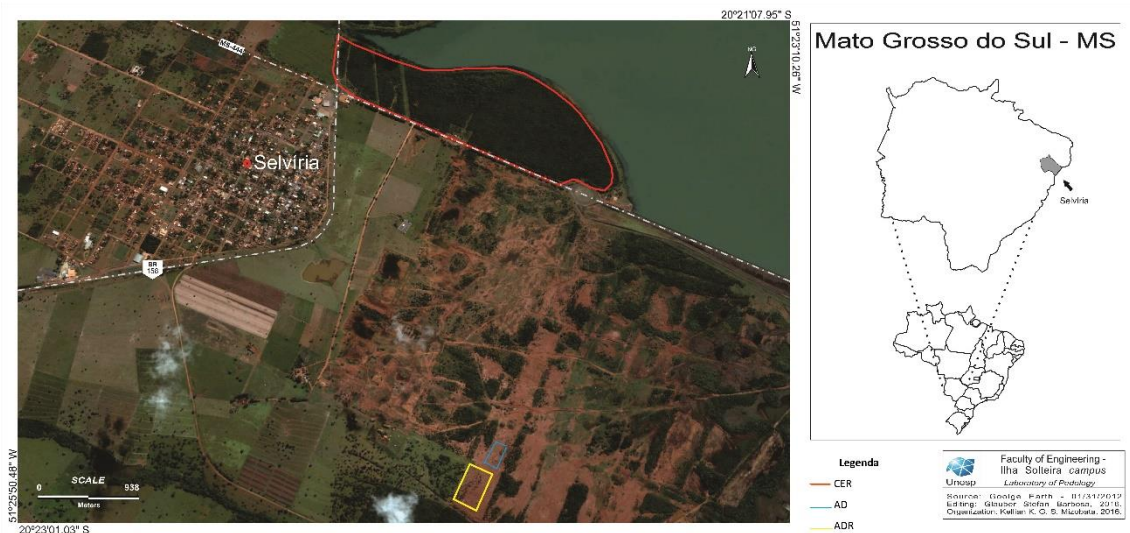
Fonte: Própria autora.

O CER (testemunha) é um remanescente da transição Floresta Semidecidual de Cerrado, ocupando uma área de 99,69 ha (Figura 4), cujo solo foi descrito como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Typic Hapludox), segundo Demattê (1980) e atualizado de acordo com EMBRAPA (2013), textura média (Argila = 313; Silte = 67; Areia = 620 g kg<sup>-1</sup>), e litologia segundo Maltoni (1994) Arenito do Grupo Bauru, Formação Santo Anastácio, de granulação fina a média, apresentando subordinadamente conglomerados, siltitos e argilitos, essa formação

assenta-se discordantemente sobre derrames Basálticos do Cretácio inferior, que afloram junto a calha dos grandes rios.

A AD (controle) e ADR (fatorial) também apresentavam o mesmo tipo de solo, mas na década de 60 foram decapitadas suas camadas superficiais, com cortes que atingiram, em algumas áreas, até 12 m de profundidade, deixando exposto o subsolo de textura argilosa (Argila=450; Silte=128; Areia= 422 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 5). A inclusão destes tratamentos originou o delineamento experimental em blocos casualizados, esquema fatorial 3 x 4 + 2, três doses de RO (0, 16 e 32 Mg ha<sup>-1</sup>), quatro doses de RA (0, 15, 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup>), e dois tratamentos adicionais (cerrado e área degradada) totalizando 14 tratamentos, com 3 repetições.

**Figura 5-** Vista aérea e localização da ADR, AD e CER, ambos na fazenda experimental da UNESP/ campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria-MS. Fonte: Google Earth, acessado em 02 de março de 2016.



Fonte: Google Earth (2016).

## REFERÊNCIAS

- ASENSIO, V.; VEGA, F. A.; ANDRADE, M. L.; COVELO, E. F. Tree vegetation and waste amendments to improve the physical condition of copper mine soils. **Chemosphere**, Kidlington, v. 90, n. 2, p. 603-610, 2013.
- BALAKRISHNAN, M.; BATRA, V. S. Valorization of solid waste in sugar factories with possible applications in India: A review. **Journal of Environmental Management**, London, v. 92, p. 2886-2891, 2011.
- BANWART, S. Save our soils. **Nature**, London, v. 474, p. 151-152, 2011.
- BENDFELDT, E. S.; BURGER, J. A.; DANIELS, W. L. Quality of amended mine soils after sixteen years. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 65, 1736-1744, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 31 out. 2016.
- 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: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1, p. 1-9.
- BROWN, S. L.; HENRY, C. L.; CHANEY, R.; COMPTON, H.; DEVOLDER, P. S. Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metalcontaminated mining areas. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 249, p. 203-215, 2003.
- BROWN, S.; MAHONEY, M.; SPRENGER, M. A comparison of the efficacy and ecosystem impact of residual-based and topsoil-based amendments for restoring historic mine tailings in the Tri-State mining district. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 485-486, p. 624-663, 2014.
- CALGARO, H. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; VALÉRIO FILHO, W. V.; FERNANDES, F. M.; MALTONI, K. L. Resíduos orgânicos como recondicionante de subsolo degradado e efeitos na atividade microbiana e fertilidade em cultivo de barbatimão. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1069-1079, 2008.
- CARRIER, M.; HARIEB, A. G.; ARASA, U.; GORGENSA, J.; KNOETZEA, J. H. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 96, p. 24-32, 2012.
- CHODAK, M.; NIKLINSKA, M. Effect of texture and tree species on microbial properties of mine soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 46, p. 268-275, 2010.
- DEMATTÊ, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 119 p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15 p. 3-11, 2000.

DUBOC, E. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas sob fertilização, em plantios de recuperação de áreas de cerrado degradado**. 2005. 152 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26924/1/duboc\\_01.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26924/1/duboc_01.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2017.

DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de Cerrado**. 3. ed. revisada e atualizada. São Paulo: SMA, 2011. 19 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013.

ERNST, W. H. O. Phytoextraction of mine wastes—options and impossibilities. **Chemie der Erde**, Muenchen, v. 65, S1, p. 29-42, 2005.

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, p. 2412-2415, 2009.

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. O cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 7, p. 19-37, 2011. Disponível em: <<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/3edicao/n7/2.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

FREITAS, E. de 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) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2005.

GARGIULO, L.; MELE, G.; TERRIBILE, F. Image analysis and soil micromorphology applied to study physical mechanisms of soil pore development: An experiment using iron oxides and calcium carbonate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 197-198, p. 151-160, 2013.

HEMMAT, A.; AGHILINATEGH, N.; REZAINAJAD, Y.; SADEGHI, M. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, p. 43-50, 2010.

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, v. 32, p. 405-416, 2008.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, Malden, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 1379-1388, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a02v32n4.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

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, p. 541-52, 2014.

MALTONI, K. L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em superfície de Latossolo sob diferentes usos**. 1994. 139 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n3/10502.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MENDEZ, M. O.; MAIER, R. M. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments - an emerging remediation technology. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 116, n. 3, p. 278-283, 2008.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. M. Data-driven analysis of soil quality indicators using limited data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 235-236, p. 271-278, 2014.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/104/33/13268.full.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

MOURA, A. C. C. **Recuperação de áreas degradadas no Ribeirão do Gama o envolvimento da comunidade do núcleo hortícola de Vargem Bonita, DF**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K.; MASTO, R. R. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 71, p. 10-20, 2014.

OTTENHOF, C.; FAZ, A.; AROCENA, J.; NIEROP, K.; VERSTRATEN, J.; VAN MOURIK, J. Soil organic matter from pioneer species and its implications to phytostabilization of mined sites in the Sierra de Cartagena (Spain). **Chemosphere**, Amsterdam, v. 69, p. 1341-1350, 2007.

PEDROL, N.; PUIG, C. G.; SOUZA, P.; FORJÁN, R.; VEJA, F. A.; ASENSIO, V.; GONZÁLEZ, L.; CERQUEIRA, B.; COVELO, E. F.; ANDRADE, L. Soil fertility and spontaneous revegetation in lignite spoil banks under different amendments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 134-142, 2010.

PINTO, J. R. R.; BORDINI, M. C.P.; PORTO, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C. Princípios e técnicas usadas na recuperação de áreas degradadas. In: FAGG, C. W.; MUNHOZ, C. B. R.; SOUSA-SILVA, J. C. **Conservação de áreas de preservação permanente do Cerrado**. Brasília: CRAD, 2011. p. 149-184.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 406-424, 2008.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 2008.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, p. 252-263, 2009.

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 Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2007.

SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Land use impacts on physical properties of 28 years old reclaimed mine soils in Ohio. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 306, p. 249-260, 2008.

STOCKMANN, U.; MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B. How fast does soil grow? **Geoderma**, Amsterdam, v. 216, p. 48-61, 2014.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A.; MURPHY, K. J.; SANTOS, A. M.; CALIMAN, A. GUARIENTO, R. D. Aquatic macrophytes in the tropics: ecology of populations and communities, impacts of invasions and use by man. In: CLARO, K. D.; OLIVEIRA, P. S.; RICO-GRAY, V.; BARBOSA, A. A.; BONET, A.; SCARANO, F. R.; GARZON, F. J. M.; VILLARNOVO, G. C.; COELHO, L.; SAMPAIO, M. V.; QUESADA, M.; MORRIS, M. R.; RAMIREZ, N. (Ed.). **International commission on tropical biology and natural resources**. v. 4. Oxford: Eolss, 2008. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/publication/236586756\\_AQUATIC\\_MACROPHYTES\\_IN\\_THE\\_TROPICS\\_ECOLOGY\\_OF\\_POPULATIONS\\_AND\\_COMMUNITIES\\_IMPACTS\\_OF\\_INVASIONS\\_AND\\_USE\\_BY\\_MAN](https://www.researchgate.net/publication/236586756_AQUATIC_MACROPHYTES_IN_THE_TROPICS_ECOLOGY_OF_POPULATIONS_AND_COMMUNITIES_IMPACTS_OF_INVASIONS_AND_USE_BY_MAN)>. Acesso em: 07 abr. 2017.

TRLICA, A.; BROWN, S. Greenhouse gas emissions and the interrelation of urban and forest sectors in reclaiming one hectare of land in the Pacific Northwest. **Environmental Science Technology**, Dordrecht, v. 47, n. 13, p. 7250-7259, 2013.

UNIÃO DA INTÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA - **Histórico de produção de moagem**. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: 10 fev. 2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Canal clima da Unesp Ilha Solteira: área de hidráulica e irrigação**. Ilha Solteira: UNESP, [200?]. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: abr. 2016.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology Biochemistry**, Kidlington, v. 39, n. 12, p. 3066-3080, 2007.

VELINI, E. D.; CORRÊA, M. R.; TANAKA, R. H.; BRAVIN, L. F.; ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, R. T.; GALO, M. L. B. T. Avaliação operacional do controle mecânico de plantas aquáticas imersas no Reservatório de Jupia. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 277-285, 2005.

VIANA, R. M.; FERRAZ, J. B.S.; NEVES Jr, A. F.; VIEIRA, G.; PEREIRA, B. F.F. Soil quality indicators for diferente restoration stages on Amazon rainforest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 140, p. 1-7, 2014.

WONG, M. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 50, p. 775-780, 2003.

ZANUZZI, A.; AROCENA, J. M.; VAN MOURIK, J. M.; FAZ CANO, A. Amendments with organic and industrial wastes stimulate soil formation in mine tailings as revealed by micromorphology. **Geoderma**, Amsterdam, v. 154, p. 69-75, 2009.

### 3 OBJETIVO GERAL

Avaliar os atributos físicos de subsolo revegetado e condicionado com resíduos orgânico e agroindustrial, utilizando controle e testemunha como parâmetros de referência.

#### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o processo de recuperação, imposto a área degradada (ADR), comparando atributos físicos dessa com um fragmento de Cerrado conservado (CER) e uma área degradada sem intervenção (AD).

Analisar os agregados em formação no subsolo exposto quanto a sua estabilidade, conteúdo de carbono orgânico e estruturação.

Verificar as condições do subsolo exposto e a sobrevivência das espécies arbóreas nativas de Cerrado introduzidas na ADR.

## CAPÍTULO 1

### ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SUBSOLO EXPOSTO CONDICIONADO COM RESÍDUOS ORGÂNICO E AGROINDUSTRIAL

#### 1 INTRODUÇÃO

Áreas degradadas resultantes das obras de construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Ilha Solteira/SP, onde ocorreu a remoção da vegetação e do solo, com cortes de até 12 m de profundidade, deixou o subsolo exposto à superfície, que após 50 anos, continua exposto e sem cobertura vegetal, o que é atribuído ao baixo pH, reduzidos carbono orgânico e fertilidade (RODRIGUES et al., 2007). Condições semelhantes a estas são relatadas para áreas mineradas e depósitos de rejeitos (ZANUZZI et al., 2009) e indicam ausência de resiliência.

Como agravante, no entorno da UHE, encontram-se áreas compactadas, devido ao intenso tráfego de máquinas ocorrido durante o período da construção, onde a infiltração de água encontra-se severamente comprometida, como relatado por Rodrigues et al. (2007), que encontrou taxas de infiltração  $< 2 \text{ cm h}^{-1}$  em subsolo exposto e  $60 \text{ cm h}^{-1}$  em cerrado conservado e a densidade do solo de 1,6 e  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. Bono et al. (2012) obteve valores médios de velocidade de infiltração para Latossolo sob Cerrado nativo da ordem de  $88 \text{ cm h}^{-1}$ , confirmando, que os  $2 \text{ cm h}^{-1}$  relatados para o subsolo exposto é um valor muito baixo.

Krümmelbein et al. (2010) avaliando, na Alemanha, uma área após mineração de carvão observaram intensa compactação do subsolo exposto ( $1,6$  a  $2,0 \text{ Mg m}^{-3}$ ), ausência de estrutura, e desta forma comprometimento dos fluxos de água e gases pelo perfil, produzindo impactos ambientais negativos, dentre os quais cita a erosão.

A recuperação de áreas com exposição do subsolo, demanda a identificação de alternativas para acelerar o desenvolvimento ou construção de um novo solo (KRÜMMELBEIN; RAAB, 2012; BROWN et al., 2014), uma vez que os processos pedogenéticos ocorrem muito lentamente (BANWART, 2011; STOCKMANN; MINASNY; MCBRATNEY, 2014).

A revegetação tem sido a técnica mais utilizada para reabilitação de áreas mineradas, onde também ocorre exposição do subsolo (CHODAK; NIKLINSKA, 2010), pois melhora a cobertura da superfície, incorpora carbono orgânico, tenta restabelecer a ciclagem de nutrientes, entre outros (BROWN et al., 2014).

Para condicionar o subsolo, tanto física como quimicamente, o uso de resíduos pode ser uma alternativa. A utilização de resíduos orgânicos e agroindustriais tem se mostrado capaz de melhorar alguns atributos do solo, além de ter custo reduzido (HEMMAT et al., 2010), se disponível na região.

Para melhorar a reduzida taxa de infiltração de água no solo, citada por Rodrigues et al. (2007), e atribuída ao selamento superficial, é necessário proceder o rompimento deste e revolvimento da camada superficial, para facilitar a entrada de água, que acompanhada da incorporação de resíduos e da introdução de mudas de espécies arbóreas, possam contribuir para o estabelecimento de processos pedogenéticos no subsolo exposto. Após intervenções antrópicas dessa ordem cabe uma avaliação dos resultados, para comprovar a eficácia das mesmas ao longo do tempo (BROWN et al., 2014).

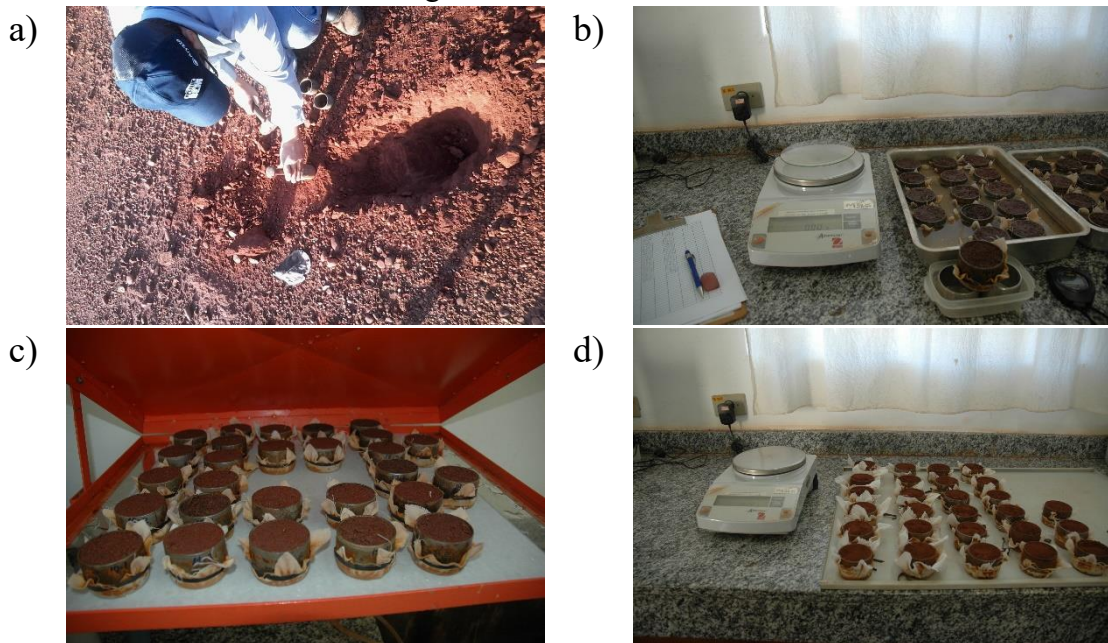
Para análise da extensão da degradação pode-se utilizar como ferramenta a avaliação da qualidade física do solo (MONCADA et al., 2014), há autores que discutem a qualidade física do solo utilizando densidade, taxa de infiltração de água no solo, resistência do solo à penetração, entre outros (KITAMURA et al., 2008; ZANUZZI et al., 2009; ASENSIO et al., 2013). Estas medidas são mencionadas como indicadores importantes na avaliação da degradação, e podem, portanto, dar informações sobre a recuperação da qualidade física do solo (REYNOLDS et al., 2009; MONCADA et al., 2014).

Com a hipótese de que o plantio de árvores e a adição de resíduos orgânico (RO) e agroindustrial (RA) contribuem para melhorar a qualidade física de áreas onde o subsolo está exposto, objetivou-se avaliar o processo de recuperação, imposto a área degradada (ADR), comparando atributos físicos dessa com um fragmento de Cerrado conservado (CER) – testemunha, e uma área degradada próxima e sem intervenção (AD) - controle.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras indeformadas foram coletadas nas camadas 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, com três repetições por parcela experimental, em julho/2015, para determinação da densidade, pelo método do anel, e da macro, microporosidade e porosidade total pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 2011), (Figura 1).

**Figura 1-** a: Coleta de amostra indeformada. b: Pesagem de amostras encharcadas e úmidas. c: Amostras na mesa de tensão. d: Pesagem das amostras secas e das taras.



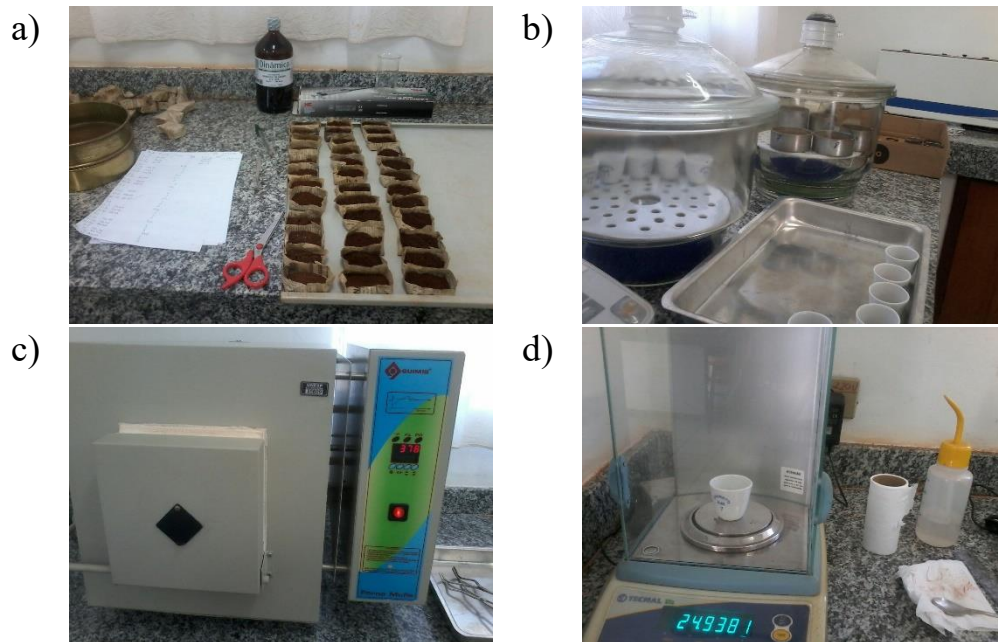
Fonte: Própria autora.

Amostras compostas foram coletadas em cada uma das 42 parcelas, nas mesmas profundidades para avaliação do teor de carbono orgânico, segundo metodologia proposta por Ben-Dor e Banin (1989), que consiste na queima de 2 g de solo, por 8 h, em mufla na temperatura de 400 °C (Figura 2). Esta estratificação permite observar o comportamento do CO nos primeiros centímetros de profundidade.

Amostras indeformadas, coletadas na profundidade de 0,0 a 0,20 m, uma por parcela, foram utilizadas para determinação da estabilidade de agregados em água (NIMMO; PERKINS, 2002), com seis repetições laboratoriais por tratamento. Após secas ao ar, as amostras indeformadas foram destorroadas manualmente e passadas em peneira de 8000  $\mu\text{m}$ , estes agregados foram levados à peneira de 4000  $\mu\text{m}$ , e os retidos nesta foram pesados (25 g) para o peneiramento úmido (peneiras de 2000  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 105  $\mu\text{m}$  e 53

$\mu\text{m}$ ) que durou 10 minutos com oscilação de 30 a 32 rpm, depois os agregados foram secos a  $105\text{ }^\circ\text{C}$  até obtenção de peso constante.

**Figura 2-** Avaliação do COT na mufla. a: secagem das amostras de solo na estufa. b: tara dos cadinhos e pesagem das amostras. c: queima das amostras na mufla. d: pesagem das amostras após a queima.



Fonte: Própria autora

De acordo com Huang et al. (2015), para avaliação da estabilidade, os agregados podem ser subdivididos em macroagregados ( $> 2000\text{ }\mu\text{m}$ ), mesoagregados ( $2000$  a  $250\text{ }\mu\text{m}$ ) e microagregados ( $250$  a  $53\text{ }\mu\text{m}$ ). Neste trabalho os mesoagregados foram subdivididos em acordo com as peneiras utilizadas em mesoagregados A ( $2000$  a  $250\text{ }\mu\text{m}$ ), mesoagregados B ( $2000$  a  $1000\text{ }\mu\text{m}$ ) e mesoagregados C ( $1000$  a  $250\text{ }\mu\text{m}$ ).

A taxa de infiltração da água no solo (TS) foi determinada pelo método dos anéis concêntricos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), e avaliada à superfície (Figura 3), em todas as parcelas. Os anéis utilizados possuem diâmetros de  $0,20$  e  $0,10\text{ m}$ , externo e interno, respectivamente, e de diâmetro inferior aos anéis tradicionais ( $0,50$  e  $0,25\text{ m}$ ), foram realizados testes preliminares que validaram a utilização dos anéis menores. Esta decisão foi tomada devido à dificuldade de levar água aos locais de avaliação.

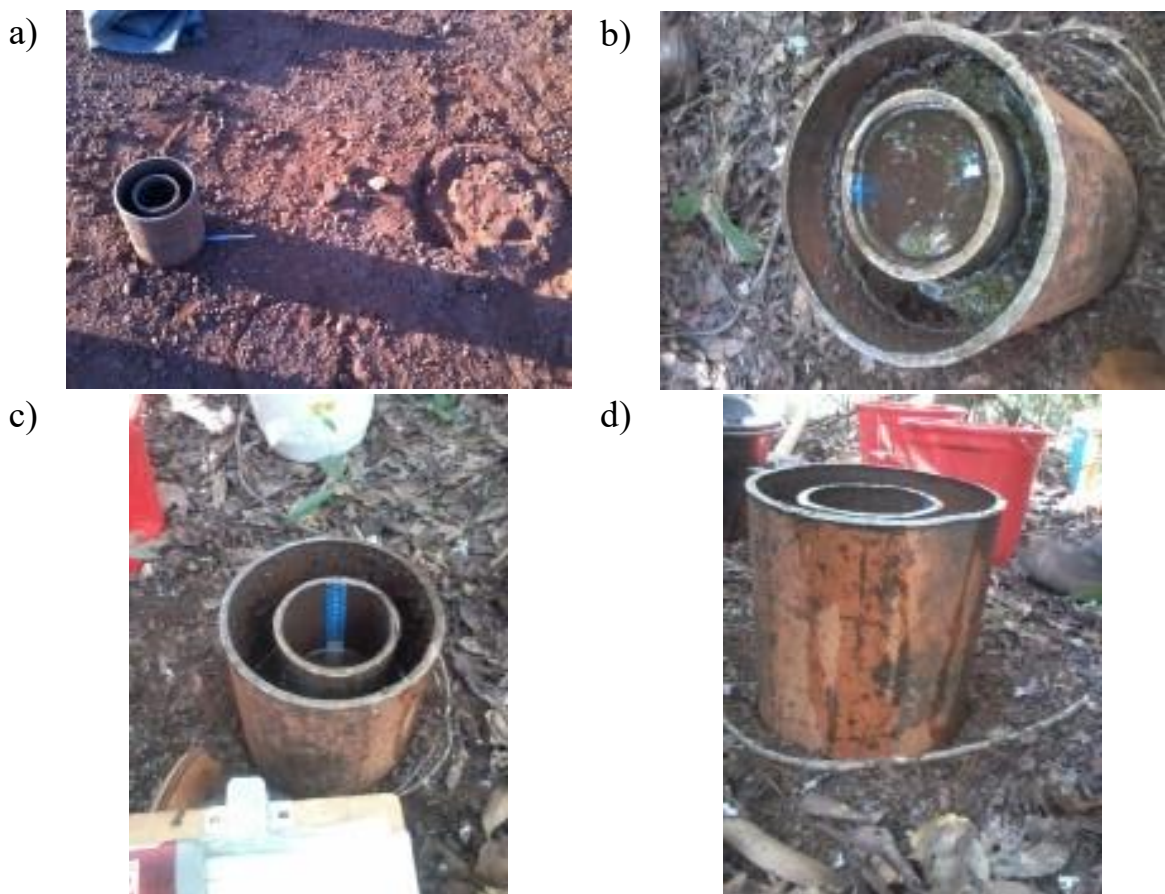
A resistência do solo à penetração (RP) foi realizada no período de novembro/2015 a janeiro/2016, determinada com auxílio de um penetrômetro de impacto, modelo Stolf e respectivo programa, disponível em Excel-VBA (STOLF, 2011), as determinações foram feitas

com três repetições, e acompanhadas da avaliação da umidade atual nas profundidades de 0,00 a 0,15; 0,15 a 0,30 e 0,30 a 0,45 m (Figura 4).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial  $3 \times 4 + 2$ , três doses de RO, quatro doses de RA, e dois tratamentos adicionais (cerrado - CER e área degradada - AD) perfazendo um total de 14 tratamentos com 3 repetições, e profundidades em parcela subdividida.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento e esquema citado. Uma vez apresentada diferença significativa entre os tratamentos estes foram comparados de três formas: teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ) para as comparações da testemunha e o controle com os tratamentos, teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação entre RO e regressão para comparação entre RA. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.4 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2016).

**Figura 3-** Medida da taxa de infiltração de água no solo (TS). a: anéis concêntricos de menor diâmetro, amostrado ao lado da marca dos anéis tradicionais. b: início da medida, c: fim da medida. d: posição dos anéis concêntricos no solo.



Fonte: Própria autora

**Figura 4-** Determinação da resistência a penetração do solo (RP). a: medida de resistência a penetração utilizando o penetrômetro de impacto. b: coleta das medidas. c: medida de resistência a penetração no Cerrado conservado. d: coleta de umidade simultânea à determinação da RP.



Fonte: Própria autora

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área degradada (AD) por remoção dos horizontes superficiais do solo e da vegetação, há 50 anos, apresenta-se, ainda hoje, desprovida de cobertura vegetal e sofrendo erosão severa (observações de campo), figura 4a, fatos que podem ser atribuídos à densidade (DS) elevada e a reduzida taxa de infiltração de água no solo (TS). Valores de densidade acima de  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  foram considerados, por Kiehl (1979) e Kozlowski (1999), restritivos ao crescimento da vegetação, pois dificultam o desenvolvimento do sistema radicular e a infiltração de água, desta forma a DS na AD, com valores da ordem de  $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$  (Tabela 1), pode ser considerada restritiva ao desenvolvimento da vegetação.

**Tabela 1-** Valores médios de densidade (DS), teor de carbono orgânico (CO), macroporos (Macro), microporos (Micro), porosidade total (Pt) do solo para os tratamentos AD, ADR e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		DS	CO	Pt	Macro <sup>o</sup>	Micro
		$\text{Mg m}^{-3}$	$\text{mg g}^{-1}$	-----	%-----	
RO	RA					
AD		1,62 #	22,79 #	41,81 #	6,37 #	35,44 #
	00 00	1,45	24,18 #	46,20 #	8,60 #	37,59 #
	00 15	1,42 °	25,21 #	49,23 #°	9,59 #	39,64 #
	00 30	1,40	26,40 #°	46,70 #°	3,14 #	43,56 #°
	00 45	1,40 °	26,25 #°	47,79 #°	8,48 #	38,52 #
	16 00	1,49	21,84 #	45,63 #	7,18 #	38,45 #
ADR	16 15	1,38 °	24,62 #	52,39 #°	6,88 #	41,51 #
	16 30	1,32 °	22,68 #	48,88 #°	3,23 #	45,65 #°
	16 45	1,36 °	22,71 #	47,60 #°	9,59 #	39,19 #
	32 00	1,37 °	23,50 #	48,21 #°	9,74 #°	38,47 #
	32 15	1,38 °	27,18 #°	49,61 #°	9,37 #	40,24 #
	32 30	1,37 °	28,78 #°	49,96 #°	5,79 #	44,17 #°
	32 45	1,33 °	26,61 #°	49,77 #°	9,92 #°	39,85 #
	CER	1,26 °	35,73 °	49,24 °	23,03 °	26,21 °
p valor						
Tratamento(T)		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)		14	14	2	51	29

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); ° = dados transformados para  $\sqrt{(x)}$ . Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

Valores de DS em torno de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  são considerados restritivos ao desenvolvimento do sistema radicular do *Pinus* e de espécies nativas de cerrado, podendo favorecer processos erosivos, uma vez que aumentam o escoamento superficial, devido à redução da infiltração de água no solo (RODRIGUES et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2010).

No solo sob vegetação de cerrado (CER), observou-se menor DS (Tabela 1), pois não sofreu intervenções antrópicas, permanecendo em condições naturais. A análise da DS da área

degradada em recuperação (ADR) indica que a mecanização, seguida da incorporação de resíduos e introdução da vegetação, proporcionou efeitos benéficos ao processo de recuperação, com redução da DS na maioria dos tratamentos da ADR em relação à AD e se aproximou da DS do CER, em todos os tratamentos (Tabela 1), melhorando as condições da área e indicando avanços no processo de recuperação proposto. Hemmat et al. (2010) utilizando adubo orgânico de diferentes fontes também observaram redução na DS, após 7 anos da implantação de experimento com adição de resíduos orgânicos (1999 a 2006).

Com resultados para DS estatisticamente significativos para doses de resíduos e profundidade (Tabela 2), destaca-se que a variação entre as profundidades avaliadas (1,36; 1,39 e 1,41 Mg m<sup>-3</sup>) não foi muito grande, sugerindo que a incorporação de resíduos influenciou os 0,20 m superficiais do solo, o que Rodrigues et al. (2007) e Bonini, Alves e Montanari (2015) atribuíram, além do preparo, a ação da cobertura vegetal e a introdução de matéria orgânica, com efeitos positivos sobre a densidade nos primeiros 0,10 m.

**Tabela 2-** Valores médios de DS, carbono orgânico (CO), porosidade total (Pt), macroporos (Macro) e microporos (Micro), para profundidades e tratamentos (doses de RO e RA), p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de R<sup>2</sup> e ponto de máximo (Pmax).

Fontes de variação		DS (Mg m <sup>-3</sup> )	CO (mg g <sup>-1</sup> )	Pt	Macro	Micro
RO	00	1,42a	25,51a	47,54a	7,56ab	39,79a
	16	1,39ab	22,96b	48,69a	6,84b	41,15a
	32	1,36b	26,52a	49,37a	8,68a	40,68a
RA	00	1,43	23,17	46,86	8,68	38,18
	15	1,39	25,67	50,34	8,59	40,46
	30	1,37	25,95	48,57	4,14	44,43
	45	1,37	25,19	48,37	9,34	39,19
Profundidade (m)						
0,00 - 0,05		1,36b	25,68a	48,39a	7,56a	40,83a
0,05 - 0,10		1,39ab	24,79a	48,16a	7,61a	40,67a
0,10 - 0,20		1,40a	25,52a	49,07a	7,99a	40,08a
p valor						
Profundidade (PRO)		0,0270	0,0918	0,6314	0,7017	0,1700
RO		0,0016	0,0000	0,1885	0,0205	0,0773
RA		0,0010	0,0009	0,0316	0,0000	0,0000
RO x RA		0,0111	0,1539	0,4528	0,2643	0,9080
RO x RA x PRO		0,9860	0,5634	0,7042	0,4607	0,3891
CV (%)		8	15	15	61	11
		Equações de regressão para o RA				Pmax
DS		$\hat{y}^{**} = 1,421 - 0,001x$			R <sup>2</sup> = 0,8666	
CO		$\hat{y}^{**} = 23,23 + 0,21x - 0,004x^2$			R <sup>2</sup> = 0,9859	26,3
Pt		$\hat{y}^{**} = 47,19 + 0,20x - 0,004x^2$			R <sup>2</sup> = 0,6176	25,0
Macro		$\hat{y}^{**} = 9,38 - 0,28x + 0,01x^2$			R <sup>2</sup> = 0,4271	14,0
Micro		$\hat{y}^{**} = 37,63 + 0,42x - 0,01x^2$			R <sup>2</sup> = 0,7359	21,0

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* = valores significativos para F, p < 0,01.

Fonte: Elaboração da própria autora

Neste trabalho, na profundidade 0,00 a 0,05m a ADR não apresentou diferenças quando comparada a AD. As mudanças começam a ocorrer a partir de 0,05 m (Tabela 3), não permitindo incluir a vegetação como contribuinte para redução da DS nos primeiros centímetros da superfície.

Os efeitos da adição de RO pouco influenciaram a DS da ADR, fato atribuído, à reduzida presença de cobertura vegetal, portanto, reduzido aporte de matéria orgânica, bem como aos 4 anos transcorridos desde a aplicação de RO, que já deve ter sido totalmente decomposto pelos microrganismos, Torres et al. (2005) e Diniz et al. (2016) relataram redução da matéria orgânica nos primeiros 40 dias após introdução ou incorporação ao solo, enquanto Sampaio e Oliveira (2005) quantificaram em três meses o tempo necessário à decomposição da macrófita *Egeria densa*, quando incorporada ao solo, tempo bastante curto se comparado aos 4 anos citados.

**Tabela 3-** Desdobramento da DS e Pt do solo dentro de cada profundidade (P1: 0,00 – 0,05; P2: 0,05 – 0,10 e P3: 0,10 – 0,20 m), p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação			DS (Mg m <sup>-3</sup> )						Pt (%)		
			P1		P2		P3		P1	P2	P3
RO	RA										
AD			1,62 #	1,65 #	1,58 #	41,2 #	40,5 #	43,7			
ADR	00	00	1,47 #	1,44 # <sup>o</sup>	1,42	45,7 #	45,8	47,4			
	00	15	1,41 #	1,39 <sup>o</sup>	1,45	48,1 <sup>o</sup>	50,1 <sup>o</sup>	49,4			
	00	30	1,35 #	1,41 <sup>o</sup>	1,46	47,7 <sup>o</sup>	47,1	44,9			
	00	45	1,36 #	1,42 <sup>o</sup>	1,43	46,2 # <sup>o</sup>	49,6 <sup>o</sup>	47,6			
	16	00	1,45 #	1,52 #	1,51	47,3 <sup>o</sup>	45,3	44,4			
	16	15	1,37 #	1,38 <sup>o</sup>	1,38 <sup>o</sup>	48,5 <sup>o</sup>	48,8 <sup>o</sup>	59,1 <sup>o</sup>			
	16	30	1,30 #	1,35 <sup>o</sup>	1,32 <sup>o</sup>	49,9 <sup>o</sup>	47,5	49,2			
	16	45	1,31 #	1,39 <sup>o</sup>	1,37 <sup>o</sup>	48,4 <sup>o</sup>	45,6	48,8			
	32	00	1,38 #	1,37 <sup>o</sup>	1,35 <sup>o</sup>	48,7 <sup>o</sup>	46,8	49,1			
	32	15	1,35 #	1,36 <sup>o</sup>	1,41 <sup>o</sup>	49,8 <sup>o</sup>	50,4 <sup>o</sup>	48,8			
CER	32	30	1,34 #	1,39 <sup>o</sup>	1,37 <sup>o</sup>	49,6 <sup>o</sup>	50,6 <sup>o</sup>	49,7			
	32	45	1,29 #	1,35 <sup>o</sup>	1,36 <sup>o</sup>	50,8 <sup>o</sup>	49,8 <sup>o</sup>	48,7			
			1,13 <sup>o</sup>	1,28 <sup>o</sup>	1,36 <sup>o</sup>	51,1 <sup>o</sup>	48,5 <sup>o</sup>	48,1			
p valor											
ADxADRxCER			0,0001	0,0001	0,0008	0,0001	0,0100	0,2909			
CV (%)			7	8	8	7	111	20			

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

As doses de RA influenciaram a DS, na presença de 16 Mg ha<sup>-1</sup> de RO, com ponto de máximo em 25 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4) colocou a DS na faixa de 1,3 Mg m<sup>-3</sup>, valor não restritivo ao desenvolvimento radicular da vegetação. Na presença de 0 e 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO a aplicação de RA não apresentou efeitos significativos, embora a DS apresente tendência a redução, nas duas situações. Considerando que o desenvolvimento dos processos pedogenéticos ocorrem lentamente (BANWART, 2011; STOCKMANN; MINASNY; MCBRATNEY, 2014), 4 anos podem não ter sido suficientes para definir claramente os rumos das alterações em curso, mas os resultados indicam que RA interfere na densidade do solo.

A adição dos resíduos (RO e RA), combinados com a mecanização da área, aumentaram a porosidade da ADR em relação a AD e CER, tendo os tratamentos 00 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 00 Mg ha<sup>-1</sup> RA e 16 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 00 Mg ha<sup>-1</sup> RA apresentando a menor porosidade estatisticamente semelhante a AD (Tabela 1), neste caso a menor porosidade ocorreu na ausência de resíduos ou na menor dose de RO e sem adição de RA, mostrando a importância da combinação dos resíduos. No entanto, o desenvolvimento da porosidade está diretamente relacionado a agregação do solo, resultados que Obia et al. (2016) atribuíram a cinza, em trabalho desenvolvido em solo arenoso, onde observaram que esta tem capacidade para aumentar a estabilidade de agregados, a porosidade e a retenção de água no solo.

**Tabela 4-** Desdobramento da interação de RO e RA para densidade do solo, médias, significância, equações de regressão, valores de R<sup>2</sup>, valores de P e ponto de máximo ou mínimo (Pmax).

RO \ RA	Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )				Equação de regressão			
	0**	15 <sup>ns</sup>	30 <sup>ns</sup>	45 <sup>ns</sup>		R <sup>2</sup>	p valor	Pmax
0 <sup>ns</sup>	1,45a	1,42a	1,40a	1,40a	$\hat{y}^{ns}$		0,4821	
16**	1,49a	1,38a	1,32b	1,36a	$\hat{y}^{**} = 1,49 - 0,01x + 0,0002x^2$	0,9991	0,0000	25
32 <sup>ns</sup>	1,37b	1,38a	1,37ab	1,33a	$\hat{y}^{ns}$		0,5590	

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA=Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>); Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> = valores não significativos, \*\* = valores significativos para F (p < 0,01).

Fonte: Elaboração da própria autora

A Pt, macro e microporos não variaram em profundidade na ADR (Tabela 2). A Pt ao comparar os tratamentos dentro de cada profundidade, notou-se, de 0,00 a 0,05 m, que ADR e CER foram diferentes de AD, e dentro de ADR apenas os tratamentos 00 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 00 Mg ha<sup>-1</sup> RA e 00 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 45 Mg ha<sup>-1</sup> RA foram diferentes de CER. A Pt aumentou, de modo geral na ADR, após as intervenções para recuperação da área (Tabelas 1, 2 e 3).

Embora com Pt semelhante entre ADR e CER, o mesmo não ocorre para macro e microporos. Os macroporos de ADR (3 a 10 %) se assemelham a AD (6 %), sugerindo ineficiência das intervenções sobre este atributo, que no CER é da ordem de 23 % (Tabela 1), mostrando predomínio de microporos em ADR. Em termos de valores, a microporosidade é maior em AD (35 %) e ADR (38 a 46 %), indicativo de solo degradado (BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015), com desequilíbrio entre macro e microporos (Tabela 1).

No CER este equilíbrio existe (23,03 % macro e 26,2 % microporos), e a porosidade total se aproxima de 50 % do volume do solo, condição importante para o fluxo de água e gases no sistema solo (LIMA et al., 2009), este equilíbrio não ocorre em AD e ADR nem em profundidade (Tabelas 1, 3 e 5), indicando necessidade de novas ações para melhorar estes atributos e intensificar o processo de desenvolvimento da macroporosidade nestas áreas, que são bastante extensas e estão sujeitas a processos erosivos severos. Boas condições de aeração do solo estão vinculadas a menores densidades e ao estado de agregação que garante a formação do espaço poroso do solo (RIBEIRO et al., 2007).

**Tabela 5-** Desdobramento da Macro, Micro do solo dentro de cada profundidade (P1: 0,00 – 0,05; P2: 0,05 – 0,10 e P3: 0,10 – 0,20 m), p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		Macro (%)						Micro (%)		
		P1		P2		P3		P1	P2	P3
	RO	RA								
AD			6,5 #	5,1 #	7,6 #	34,7 #	35,5 #	36,2 #		
	00	00	7,6 #	9,0 #	9,4 #	38,1 #	36,8 #	37,9 #		
	00	15	9,0 #	10,3 #	9,5 #	39,1 #	39,9 #	39,9 #		
	00	30	3,5 #	3,4 #	2,4 #	44,3 #°	43,7 #°	42,4 #		
	00	45	7,5 #	9,0 #	8,8 #	38,7 #	38,1 #	38,8 #		
ADR	16	00	8,8 #	6,8 #	6,1 #	38,6 #	38,5 #	38,3 #		
	16	15	5,4 #	7,4 #	7,5 #	43,1 #°	41,4 #°	40,4 #		
	16	30	3,4 #	3,0 #	3,2 #	46,4 #°	44,5 #°	45,9 #°		
	16	45	10,6 #	9,2 #	8,9 #	37,8 #	39,9 #	39,9 #		
	32	00	8,9 #	10,1 #	10,2 #	39,7 #°	36,7 #	38,9 #		
	32	15	11,3 #	9,3 #	7,7 #	38,4 #	41,0 #	41,1 #		
	32	30	3,9 #	3,6 #	9,9 #	45,7 #°	47,0 #°	39,7 #		
	32	45	11,2 #	9,3 #	9,4 #	39,7 #°	40,6 #	39,2 #		
	CER			25,9 °	22,4 °	20,8 °	25,2	26,1 °	27,3 °	
p valor										
ADxADRxCER			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)			46	48	58	9	11	12		

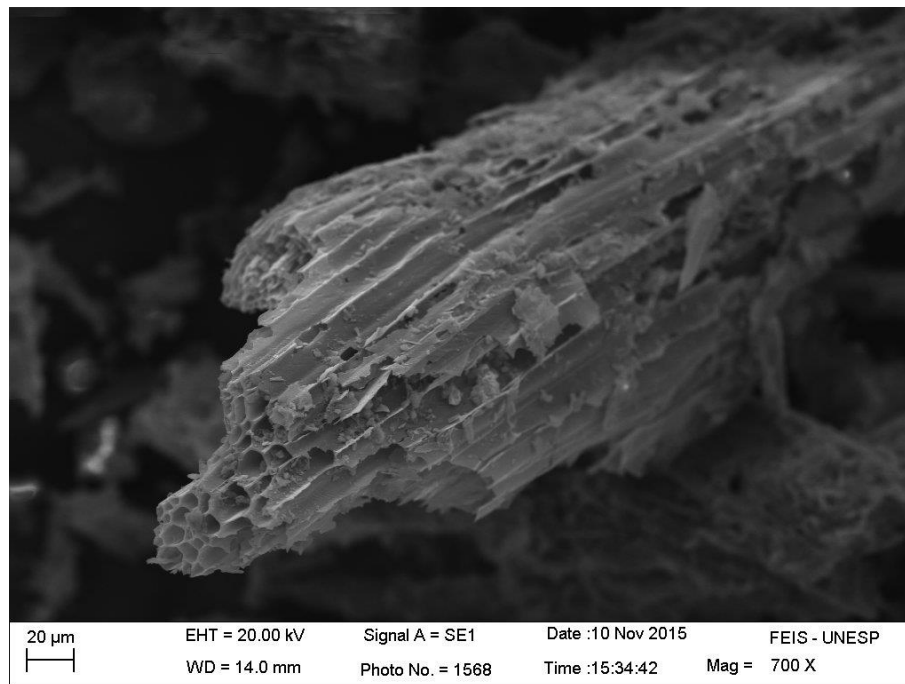
Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

O carbono orgânico (CO) do solo não apresentou variações em profundidade nos tratamentos da ADR (Tabela 2) dado importante, pois o CO participa da estruturação dos agregados e da distribuição e tamanho dos poros do solo, reduzindo a DS e a RP (CARDOSO et al., 2011), no entanto, o conteúdo de CO (Tabela 1) ainda está baixo (28,78 a 21,84 mg g<sup>-1</sup>) se comparado ao CER (35,73 mg g<sup>-1</sup>), fato atribuído ao contínuo aporte e decomposição de material orgânico que ocorre em áreas conservadas (CARDOSO et al., 2011).

Ao analisar comparativamente o CO da ADR com AD (Tabela 1) nota-se que o CO aumentou, nos tratamentos 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO combinado com 15, 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> RA. Na ausência de RO as doses 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> de RA foram as que apresentaram maior teor de CO no subsolo exposto, os demais tratamentos mantiveram os teores de CO iguais a AD, comportamento atribuído ao aporte proporcionado pelos resíduos adicionados a ADR, e particularmente a RA que contém 57 % de CO (anexo 1), que pode apresentar uma liberação, mais lenta por ter sido calcinado (Figura 5), Hartley, Riby e Waterson (2016) citam a liberação de 18 mg g<sup>-1</sup> de CO no solo, em experimento conduzido em vaso, com cinza contendo 53 % de CO total, após 12 meses.

**Figura 5-** Imagem de microscopia eletrônica de varredura-MEV de uma partícula de cinza calcinada, onde as estruturas do bagaço da cana de açúcar permanecem parcialmente preservadas.



Fonte: Dados de pesquisa de Maltoni, K. L.<sup>1</sup>

O CO encontrado na AD (23 mg g<sup>-1</sup>) não foi introduzido via vegetação, devido à ausência da mesma, sugerindo que o CO presente não seja resultado de processos atuais, podendo estar no subsolo, mesmo exposto, há muito tempo, pelo menos há 50 anos (antes da degradação, quando ainda havia solo, e presença de vegetação com fitofisionomia do Cerrado), uma explicação para presença deste CO pode ser atribuída a presença no subsolo de CO muito antigo como citado por Ciarkowska, Gargiulo e Mele (2016), que encontrou incremento de CO oriundo da adição de matéria orgânica ao solo, mas também de resíduos que continham alguns fósseis.

Embora seja esperada a redução do CO em profundidade, neste trabalho, a subdivisão da profundidade em camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, não mostrou variações entre AD e ADR, mostrando que o aporte de CO via superfície, isto é parte aérea das plantas, raízes, serapilheira, etc, é incipiente, e apenas a incorporação de 32 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 30 Mg ha<sup>-1</sup> RA contribuiu para incremento do CO na camada de 0,05 a 0,10 m, o que pode ter sido um acaso (Tabela 6). Cabe destacar que na camada de 0,10 a 0,20 m a maioria dos tratamentos ADR apresentaram teor de CO semelhante a AD e CER, sugerindo que mesmo na área preservada (CER) o teor de CO não é elevado no Cerrado da região, Souza e Alves

<sup>1</sup> Figura cedida diretamente pela autora Maltoni K. L. proveniente de suas pesquisas.

(2003) observaram o mesmo comportamento e valores bem próximos aos encontrados neste trabalho ( $24,59 \text{ mg g}^{-1}$ ), para área próxima no Cerrado, enquanto, Campos et al. (2011) relatam o mesmo comportamento, em profundidade, para um Latossolo Vermelho sob Cerrado, na mesma região, porém com teores de CO mais baixos ( $12,90 \text{ mg g}^{-1}$ ).

**Tabela 6-** Desdobramento do CO do solo dentro de cada profundidade (P1: 0,00 – 0,05; P2: 0,05 – 0,10 e P3: 0,10 – 0,20 m), p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		CO ( $\text{mg g}^{-1}$ )					
		P1		P2		P3	
RO	RA						
AD		23,1	#	22,5	#	22,8	#
AD	00 00	24,4	#	24,2	#	23,9	
	00 15	25,1	#	24,9	#	25,6	
	00 30	27,4	#	25,7	#	26,1	
	00 45	25,3	#	26,9	#	26,5	
ADR	16 00	21,2	#	20,7	#	23,6	#
	16 15	24,5	#	24,1	#	25,3	
	16 30	27,6	#	21,8	#	18,7	#
	16 45	23,4	#	22,5	#	22,2	#
	32 00	23,2	#	23,5	#	23,8	
	32 15	27,6	#	27,5	#	26,5	
	32 30	29,8	#°	28,8	°	27,7	
	32 45	28,8	#	26,8	#	24,8	
CER		42,9	°	34,4	°	29,8	°
p valor							
ADxADRxCER		0,0001		0,0001		0,0008	
CV (%)		14		14		15	

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

A avaliação dos mesoagregados A ( $2000 - 250 \mu\text{m}$ ) apresentou diferenças significativas, evidenciando melhora na estabilidade dos mesmos, com ADR, apresentando comportamento semelhante ao CER (Tabela 7). Porém, em campo, o comportamento destas áreas (CER, AD e ADR), é bastante diferente quanto a TS e RP por exemplo (Figuras 6 e 7), variáveis relacionadas também à estruturação do solo.

**Tabela 7-** Macroagregados 4000 a 2000  $\mu\text{m}$ , mesoagregados de 2000 a 250  $\mu\text{m}$  (A), mesoagregados  $>1000 \mu\text{m}$  (B), mesoagregados de 1000 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro) para tratamentos.

Fontes de variação		Macro	A	B	C	Micro
		-----%				
RO	RA					
AD		22,54 #	75,11 #	36,53 #	52,57 #	11,52 #
AD	00 00	44,84 #°	86,41 °	58,78 #°	41,56 #	9,25 #
	00 15	58,29 °	88,89 °	67,91 °	30,61 #°	6,96 #°
	00 30	52,01 #°	85,42 °	62,89 °	33,41 #°	8,59 #
	00 45	51,79 #°	86,71 °	62,18 #°	34,92 #°	7,45 #
ADR	16 00	44,62 #°	84,64 °	54,35 #°	40,02 #°	9,51 #
	16 15	53,34 #°	86,75 °	62,53 °	33,41 #°	7,01 #°
	16 30	48,66 #°	87,43 °	62,42 °	38,77 #°	7,19 #°
	16 45	45,91 #°	85,02 °	57,90 #°	39,11 #°	8,76 #
	32 00	43,59 #°	84,38 °	56,12 #°	40,79 #	9,12 #
	32 15	49,04 #°	85,14 °	60,66 #°	36,09 #°	8,55 #
ADR	32 30	48,46 #°	85,58 °	60,50 #°	37,12 #°	7,71 #
	32 45	46,58 #°	84,83 °	57,88 #°	38,25 #°	8,40 #
	CER	71,23 °	84,54 °	76,46 °	13,30 °	2,33 °
p valor						
ADxADRxCER		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
CV (%)		19	4	14	20	32

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

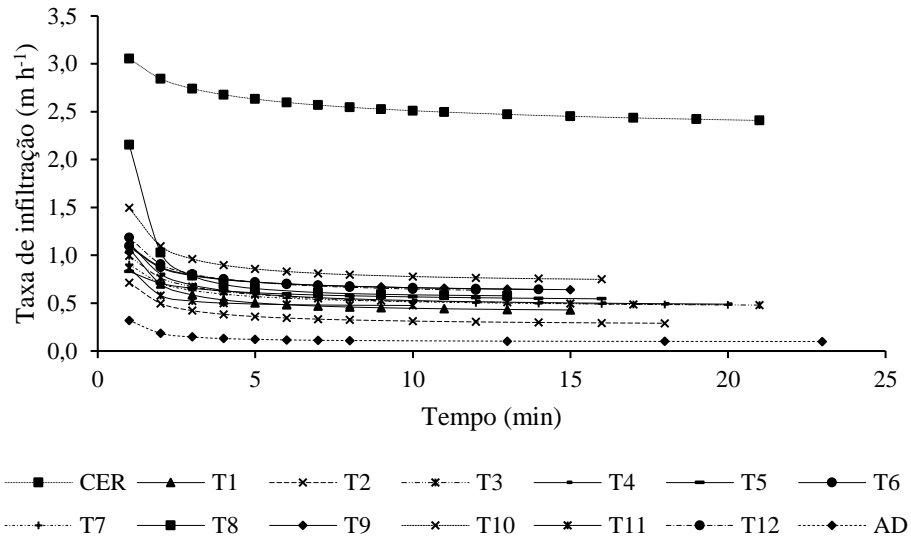
Fonte: Elaboração da própria autora

Ao analisar a distribuição dos macroagregados ( $>2000 \mu\text{m}$ ) verificou-se que as maiores porcentagens ocorrem no CER e as menores na AD (Tabela 7), estando todos os tratamentos da ADR entre esses, indicando mudanças positivas na ADR, e o estabelecimento do processo de estruturação do subsolo (Tabela 7).

A agregação do solo está relacionada ao aporte de CO (Tabelas 1 e 6), oriundo dos resíduos incorporados, o que pode estar proporcionando maior atividade microbológica, com liberação de exsudatos que auxiliam na agregação e estabilidade dos agregados (SIX et al., 2006).

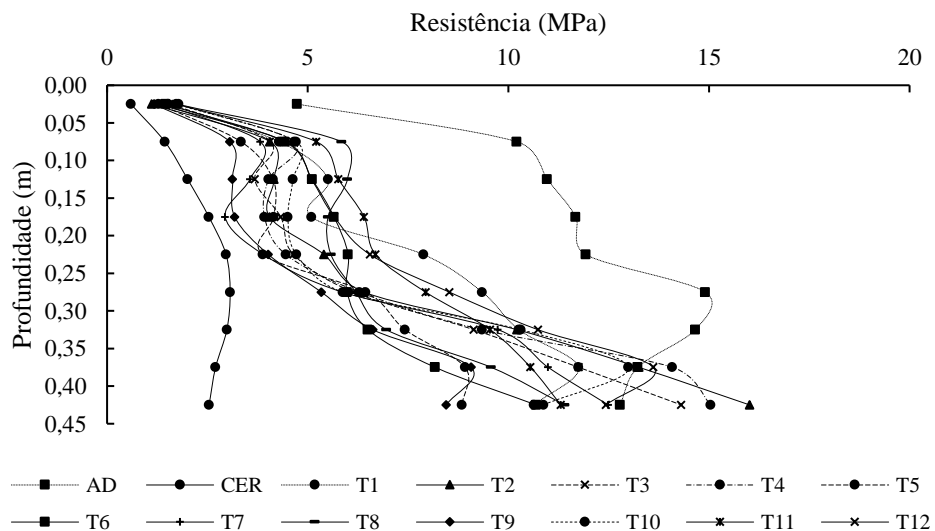
Avaliando os mesoagregados de diâmetro 1000 a 250  $\mu\text{m}$ , notou-se menores valores para CER e maiores valores para AD, seguido de ADR, indicando maior estabilidade estrutural no CER frente aos demais (Tabela 7). De acordo com Six et al. (2006), os agregados de menor estabilidade se fragmentam em agregados menores explicando a maior quantidade de agregados menores para AD e ADR, comportamento que se repete para os microagregados, reafirmando a fragilidade estrutural da AD e a melhora alcançada na ADR.

**Figura 6-** Taxa de infiltração de água estimada nos tratamentos (CER = cerrado; AD = área degradada sem intervenção; T1 = 00RA + 00RO; T2 = 15RA + 00RO; T3 = 30RA + 00RO; T4 = 45RA + 00RO; T5 = 00RA + 16RO; T6 = 15RA + 16RO; T7 = 30RA + 16RO; T8 = 45RA + 16RO; T9 = 00RA + 32RO; T10 = 15RA + 32RO; T11 = 30RA + 32RO; T12 = 45RA + 32RO em  $\text{Mg ha}^{-1}$  de RA = dose de resíduo agroindustrial e RO = dose de resíduo orgânico).



Fonte: Elaboração da própria autora

**Figura 7-** Perfis de resistência à penetração do solo determinada nos diferentes tratamentos (CER = cerrado; AD = área degradada sem intervenção; T1 = 00RA + 00RO; T2 = 15RA + 00RO; T3 = 30RA + 00RO; T4 = 45RA + 00RO; T5 = 00RA + 16RO; T6 = 15RA + 16RO; T7 = 30RA + 16RO; T8 = 45RA + 16RO; T9 = 00RA + 32RO; T10 = 15RA + 32RO; T11 = 30RA + 32RO; T12 = 45RA + 32RO em  $\text{Mg ha}^{-1}$  de RA = dose de resíduo agroindustrial e RO = dose de resíduo orgânico).



Fonte: Elaboração da própria autora

A maior porcentagem de macroagregados, produz menor quantidade de microagregados, no caso a porcentagem destes nos tratamentos da ADR são menores que na AD, o que evidencia mudanças positivas nas condições edáficas (Tabela 7). A ADR está melhorando, mas o processo de agregação e formação do solo é lento, pode levar milhares de anos e talvez nunca tenha suas condições iniciais restabelecidas (BANWART, 2011; STOCKMANN; MINASNY; MCBRATNEY, 2014). No entanto, quando se analisam os tratamentos da ADR separadamente (Tabela 8), não se observam diferenças importantes relacionadas às doses de RO e RA.

**Tabela 8-** Macroagregados 4000 a 2000  $\mu\text{m}$ , mesoagregados de 2000 a 250  $\mu\text{m}$  (A), mesoagregados de 4000 a 1000  $\mu\text{m}$  (B), mesoagregados de 1000 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro) para tratamentos, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de  $R^2$  e ponto de máximo (Pmax).

Fontes de variação	Macro	A	B	C	Micro
	-----%				
RO	00 51,73a	86,86a	62,94a	35,13a	8,06a
	16 48,14a	85,96a	59,29a	37,83a	8,12a
	32 46,92a	84,98a	58,79a	38,06a	8,44a
RA	00 44,35	85,14	56,42	40,79	9,29
	15 53,56	86,93	63,69	33,37	7,51
	30 49,71	86,14	61,94	36,43	7,83
	45 48,09	85,52	59,32	37,42	8,20
p valor					
RO	0,2087	0,2463	0,2350	0,3270	0,8393
RA	0,0477	0,5283	0,0991	0,0381	0,1465
RO x RA	0,9620	0,8171	0,9874	0,9053	0,7558
CV (%)	20	5	15	20	29
	-----				
	Equações de regressão para o RA				Pmax
Macro	$\hat{y}^* = 45,12 + 0,59x - 0,01x^2$			$R^2 = 0,7328$	29,5
A	$\hat{y}^{ns}$				
B	$\hat{y}^* = 56,83 + 0,54x - 0,01x^2$			$R^2 = 0,8893$	27,0
C	$\hat{y}^* = 40,17 - 0,47x + 0,01x^2$			$R^2 = 0,7194$	23,5
Micro	$\hat{y}^* = 9,19 - 0,13x + 0,002x^2$			$R^2 = 0,8825$	32,5

RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> = valores não significativos; \* = valores significativos para F ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

A infiltração de água no solo na ADR, ainda bastante reduzida, apresentou condições semelhantes e próximas da AD, por apresentar menor macroporosidade e maior densidade, quando comparada ao CER, com boas condições de drenagem e estruturalmente conservado (Figura 6), o que é reforçado pelos dados de macroporosidade e macroagregados (Tabelas 1 e 7).

Indicações de limitação na infiltração de água no solo também foram relatadas por Nunes et al. (2012) em solo exposto e sob pastagem, onde a maior infiltração de água ocorreu nos canais/caminhos formados pelas raízes, e na presença de uma estrutura física, formada por agregados maiores e mais estáveis. A menor densidade e a presença de material vegetal em decomposição contribuíram para aumentar os macroporos que são responsáveis de acordo com Zwirter et al. (2013), pela redistribuição da água no solo, corroborando os dados obtidos para CER.

O comprometimento da macroporosidade responde pela reduzida TS e nessas condições o solo é suscetível à erosão, quando a água da chuva demora a infiltrar e promove o escoamento superficial, acarretando o transporte de partículas e potencializando os processos

de erosão e assoreamento dos corpos hídricos (RODRIGUES et al., 2007). No entanto, notou-se melhora na TS da ADR (Figura 6), onde a área foi mecanizada e resíduos foram incorporados ao subsolo, evidenciando uma tendência à recuperação, colocando a TS da ADR entre o CER e AD.

Resultados promissores também foram observados para a RP nos tratamentos da ADR, que graficamente estão posicionados entre o CER e a AD (Figura 7), embora ainda ultrapassem o valor crítico de RP (2 MPa) em condição hídrica ótima, como adotado por Rodrigues Moreira et al. (2014), para o bom desenvolvimento de culturas agrícolas.

A RP na AD é mais elevada em decorrência da falta de cobertura vegetal, da compactação, originada pelo corte executado, pelo trânsito de máquinas pesadas e ausência de revolvimento da superfície, durante muito tempo, o que prejudicou porosidade, densidade, agregação e infiltração de água no solo (RICHART et al., 2005).

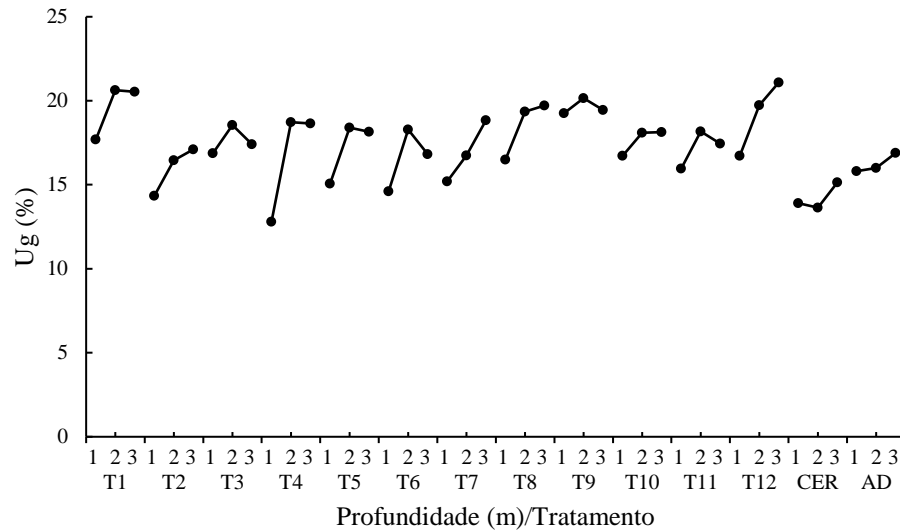
A RP segundo Magalhães et al. (2010), aumenta com a intensificação do uso do solo (cana-de-açúcar > pastagem > mata), corroborando os resultados do presente estudo, onde tem-se dois extremos, a AD com maior RP e o CER com menor RP, entre esses, encontram-se os tratamentos estabelecidos na ADR com incorporação de resíduos e mecanização da área.

Os tratamentos aplicados na ADR apresentam RP com comportamento gráfico semelhante ao solo degradado, porém com menores valores até 0,35 m de profundidade, quando volta a aumentar ficando igual à área degradada. A incorporação de resíduos e a mecanização da área reduziram a RP até 0,35 m, dados corroborados pela TS, com maior infiltração devido ao rompimento do selamento observado em campo e ao revolvimento da camada superficial do subsolo exposto (Figuras 6 e 7).

A avaliação da umidade realizada em conjunto com a resistência a penetração mostrou uma variação de 13 a 21 % (Figura 8), mantendo-se a umidade gravimétrica (%) para todas as medidas de RP dentro dessa faixa, sugerindo que nessas condições, a umidade do solo não interferiu nas medidas.

Os resultados mostraram a importância e a necessidade da realização de ações antrópicas para reverter o processo de degradação, neste caso, ocorrido há mais de 50 anos e que só tende a aumentar, se não houver modificações drásticas na composição desse ambiente. Rodrigues Moreira et al. (2014) aconselham ações corretivas ou mudanças no sistema de manejo para recuperar a qualidade do solo onde estão presentes condições menos favoráveis ao crescimento da vegetação.

**Figura 8-** Umidade gravimétrica do solo ( $U_g$ ) em três profundidades (0,0 - 0,15; 0,15 - 0,30 e 0,30 - 0,45 m), para cada tratamento (T1 = 00RA + 00RO; T2 = 15RA + 00RO; T3 = 30RA + 00RO; T4 = 45RA + 00RO; T5 = 00RA + 16RO; T6 = 15RA + 16RO; T7 = 30RA + 16RO; T8 = 45RA + 16RO; T9 = 00RA + 32RO; T10 = 15RA + 32RO; T11 = 30RA + 32RO; T12 = 45RA + 32RO em  $Mg\ ha^{-1}$  de RA = dose de resíduo agroindustrial e RO = dose de resíduo orgânico, CER = cerrado; AD = área degradada sem intervenção).



Fonte: Elaboração da própria autora

Embora se tenha trabalhado de forma homogênea em todas as parcelas dos tratamentos da ADR, os resultados apresentam variações, segundo Krümmelbein et al. (2010) particularmente para os atributos físicos, mesmo tendo o substrato mesma textura a condutividade hidráulica pode variar muito numa área em recuperação, devido a heterogeneidade e instabilidade do substrato.

## 4 CONCLUSÕES

A taxa de infiltração de água no solo e a resistência do solo a penetração apresentaram resultados positivos às ações de recuperação realizadas.

A densidade na área degradada em recuperação diminuiu, ficando entre 1,32 a 1,49 Mg m<sup>-3</sup>, valores bem mais próximos do CER.

O carbono orgânico na área degradada sem intervenção é 22,79 mg g<sup>-1</sup>, no Cerrado 35,73 e na área em recuperação variou de 21,84 mg g<sup>-1</sup> a 28,78 mg g<sup>-1</sup>.

Os macroagregados (4000 a 2000 µm) na área degradada em recuperação variaram de 43,59 a 58,29 %, em função do aporte de carbono orgânico.

Transcorridos 4 anos, o subsolo exposto dá sinais de recuperação por meio de processos pedogenéticos que conduzem a formação agregados.

## REFERÊNCIAS

- ASENSIO, V.; VEGA, F. A.; ANDRADE, M. L.; COVELO, E. F. Tree vegetation and waste amendments to improve the physical condition of copper mine soils. **Chemosphere**, Kidlington, v. 90, p. 603-10, 2013.
- BANWART, S. Save our soils. **Nature**, London, v. 474, p. 151-2, 2011.
- BEN-DOR, E.; BANIN A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1675-1695, 1989.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 34-42, 2015.
- BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MÜLLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1845-1853, 2012.
- BROWN, S.; MAHONEY, M.; SPRENGER, M. A comparison of the efficacy and ecosystem impact of residual-based and topsoil-based amendments for restoring historic mine tailings in the Tri-State mining district. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 485-486, p. 624-32, 2014.
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 796-803, 2011.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 613-622, 2011.
- CHODAK, M.; NIKLINSKA, M. Effect of texture and tree species on microbial properties of mine soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 46, p. 268-275, 2010.
- CIARKOWSKA, K.; GARGIULO, L.; MELE, G. Natural restoration of soils on mine heaps with similar technogenic parent material: A case study of long-term soil evolution in Silesian-Krakow Upland Poland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 261, p. 141-150, 2016.
- DINIZ, I. C. C.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; AQUINO, J. M. G. L.; MATOS, M. P. Degradation of sewage sludge compost disposed on the soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 822-829, 2016.

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.

HARTLEY, W.; W.; RIBY, P.; WATERSON, J. Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability. **Journal of Environmental Management**, Camden, v. 181, p. 770-778, 2016.

HEMMAT, A.; AGHILINATEGH, N.; REZAINAJAD, Y.; SADEGHI, M. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, p. 43-50, 2010.

HUANG, M.; LIANG, T.; WANG, L.; ZHOU, C. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat-maize double cropping system. **Catena**, Amsterdam, v. 128, p. 195-202, 2015.

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

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, v. 32, p. 405-16, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/38.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

KOZLOWSKI, T. Soil compaction and growth of woody plants. **Scandinavian Journal Forest Research**, Stockholm, v. 14, p. 596-619, 1999.

KRÜMMELBEIN, J.; HORN, R.; RAAB, T.; BENS, O.; HÜTTL, R.F. Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1, p. 19-25, 2010.

KRÜMMELBEIN, J.; RAAB, T. Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 125, p. 109-115, 2012.

LIMA, R. C.; MELLO, L. M. M. de; CARVALHO, M. de P. E.; LIMA, C. G. da R.; MELLO, A. M. de. Aspectos lineares e espaciais da correlação entre a produtividade de forragem de milho e a porosidade do solo sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 40-51, 2009.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v. 2, p. 21-32, 2010.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. M. Data-driven analysis of soil quality indicators using limited data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 235 – 236, p. 271-278, 2014.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 4 - Physical methods. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 2002. p. 317-321.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, p. 1685-1692, 2012.

OBIA, A.; MULDER, J.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BØRRESEN, T. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 35-44, 2016.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, p. 252-263, 2009.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO, F. de M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, p. 321-344, 2005.

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 Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 73-80, 2007.

RODRIGUES MOREIRA, F.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; MARIA, I. C.; PESSONI, P. T. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 118-127, 2014.

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

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide: statistics**. Cary: SAS Institute. 2016.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIET, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, p. 555-569, 2006.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

STOCKMANN, U.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. How fast does soil grow? **Geoderma**, Amsterdam, v. 216, p. 48-61, 2014.

STOLF, R. **Penetrômetro de Impacto Stolf**: programa de manipulação de dados em Excel-VBA. São Carlos: Ed. UFSCar, 2011.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 609-618, 2005.

ZANUZZI, A.; AROCENA, J. M.; VAN MOURIK, J. M.; FAZ, C. A. Amendments with organic and industrial wastes stimulate soil formation in mine tailings as revealed by micromorphology. **Geoderma**, Amsterdam, v. 154, p. 69-75, 2009.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGO, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de Cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 489-500, 2013.

## CAPÍTULO 2

### ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM SUBSOLO EXPOSTO COMO RESPOSTA AO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO ESTABELECIDO

#### 1 INTRODUÇÃO

Como resultado da construção da UHE de Ilha Solteira, imensas áreas tiveram o subsolo exposto e não foram recuperadas, estas áreas são caracterizadas por baixa retenção de água, deficiência em nutrientes, elevada densidade, susceptibilidade a erosão (RODRIGUES et al., 2007; BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015), conjunto desfavorável ao restabelecimento do ecossistema, razão pela qual a pedogênese se desenvolve lentamente e a completa recuperação do solo poderá levar muito tempo (KRZAKLEWSKI et al., 2004; PAJAŁK et al., 2015). A incorporação de matéria orgânica e a formação de agregados são processos muito importantes para o desenvolvimento dos poros e da atividade biológica (ŠOURKOVÁ et al., 2005; MONSERIÉ et al., 2009; SÉRÉ et al., 2010; HUOT et al., 2014).

A agregação do solo é uma propriedade primária, a partir do desenvolvimento dos agregados surgem os poros, com seus diferentes tamanhos, distribuição, e arquitetura, que por sua vez influenciam o movimento e a retenção de água, interferindo também na distribuição de compostos (MERMUT et al., 1992; HALLAIRE; CURMI, 1994; BOTTINELLI et al., 2010; JANGORZO et al., 2013, 2014).

A estabilidade dos agregados é um indicador utilizado na avaliação da qualidade física do solo e suscetibilidade à erosão, e ainda na avaliação do grau de degradação ou recuperação de solos e/ou ecossistemas (CANTÓN et al., 2009; MONCADA; GABRIELS; CORNELIS; 2014).

A agregação do solo tem relação direta com a matéria orgânica, o sistema radicular da cobertura vegetal e, conseqüentemente, com o teor de carbono (FERNANDES et al., 2012; ZHOU et al., 2012; CHENG et al., 2015). A matéria orgânica influencia a maioria dos atributos do solo, de modo que a redução do carbono orgânico total está relacionada também à degradação física destes (WENDLING et al., 2012).

A matéria orgânica é considerada o principal agente de formação e estabilização dos agregados do solo, a correlação entre seus teores e a dinâmica dos agregados vem sendo enfatizada, devido a influência desta sobre os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanho dos agregados, onde a quantidade resultará em maior ou menor agregação, e

consequentemente, com menor ou maior perda de solo (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991; WENDLING et al., 2005; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

Além do carbono orgânico (CO), interferem na agregação do solo o tipo e a proporção de argila, a presença de carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, ciclos de umedecimento e secagem do solo, exudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas oriundas da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos, sendo a matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos os agentes cimentantes das partículas primárias e secundárias do solo, além dos ciclos de umedecimento e secagem do solo como importante fator ambiental que interfere na agregação (MALTONI et al., 1994; BASTOS et al., 2005).

Ciarkowska, Gargiulo e Mele (2016), avaliando a recuperação de um subsolo, observaram correlação linear entre o conteúdo de CO e os agregados pequenos (12 a 300  $\mu\text{m}$ ) e cita a importância das raízes, fauna e atividade microbiológica, como parte de um processo pedogenético que atua depois da introdução da matéria orgânica no sistema, mostra que com o passar do tempo os agregados se tornam mais abundantes e menores.

O tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo podem ser determinados segundo Kemper (1965) e Kemper e Chepil (1965) pelo Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e/ou pelo Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA), onde o DMP é proporcional ao aumento da percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores e o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados, estas variáveis podem ser utilizadas para interpretação da estabilidade dos agregados.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV), pode ser uma ferramenta aliada ao estudo dos agregados, fornecendo informações relevantes quanto à organização de sua estrutura e da matéria orgânica particulada contida no agregado. Bisdom, Dekker e Shoute (1993) ressaltaram que a MEV é uma avaliação importante dos microagregados, que são compostos de finos materiais orgânicos e minerais, e os macroagregados constituídos por materiais finos e grossos com e sem restos de plantas.

O carbono orgânico (CO) desempenha importante papel na formação e nos atributos dos solos. Parte do CO é facilmente mineralizado, enquanto o restante degrada-se mais lentamente, permanecendo no solo por centenas ou milhares de anos (SANTOS et al., 2011).

A agregação do solo está relacionada também à proteção física de frações lábeis da matéria orgânica à biodegradação, sendo necessária sua preservação, pois melhora a estruturação do solo, sua fertilidade e contribui para assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000).

O uso de resíduos orgânicos pode ser útil e recomendável na reabilitação de solos degradados porque melhoram as propriedades biológicas e a formação de agregados, influenciando positivamente o crescimento da planta e a redução da erosão (HEMMAT et al., 2010; ASENSIO et al., 2013; KABAS et al., 2014; MIZOBATA et al., 2016).

A adição de resíduos promove incrementos de matéria orgânica e de carbono ao solo (BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015; ZANG et al., 2015; MIZOBATA et al., 2016), esta intervenção pode aumentar as atividades microbianas, melhorar a formação e a estabilidade dos agregados do solo (DOWNIE et al., 2009), os microrganismos realizam diversas funções para o funcionamento do solo, decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes às plantas, degradam substâncias tóxicas, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo (KENNEDY; DORAN, 2002; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os progressos obtidos com o processo de recuperação adotado para uma área de subsolo exposto, quanto a formação de agregados, conteúdo de carbono orgânico nos agregados e a morfologia dos mesmos, comparativamente a área degradada sem intervenção e ao Cerrado comparativo, e estruturação, em três áreas com diferentes graus de degradação (área degradada).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

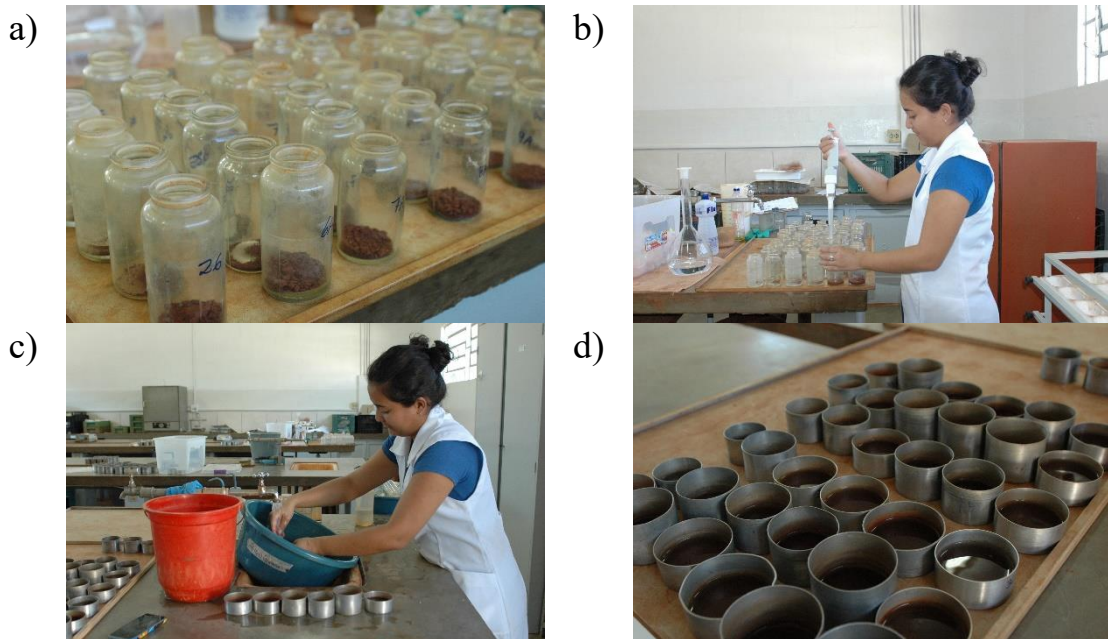
Para determinação da estabilidade de agregados em água, amostras indeformadas foram coletadas na profundidade de 0,0 a 0,20 m, uma em cada parcela dos tratamentos estabelecidos na área degradada em recuperação (ADR) e da mesma forma na área degradada sem intervenção (AD) e no Cerrado (CER) (NIMMO; PERKINS, 2002), produzindo seis repetições laboratoriais por tratamento.

As amostras indeformadas, após secas ao ar, foram destorroadas manualmente e passadas em peneira de 8000  $\mu\text{m}$ , estes agregados foram levados à peneira de 4000  $\mu\text{m}$ , e então pesados para o peneiramento úmido nos seguintes diâmetros 4000 a 2000  $\mu\text{m}$ , 2000 a 1000  $\mu\text{m}$ , 1000 a 500  $\mu\text{m}$ , 500 a 250  $\mu\text{m}$ , 250 a 105  $\mu\text{m}$  e 105 a 53  $\mu\text{m}$ .

Para avaliação, os agregados podem ser subdivididos em macroagregados (4750 a 2000  $\mu\text{m}$ ), mesoagregados (2000 a 250  $\mu\text{m}$ ) e microagregados (250 a 53  $\mu\text{m}$ ) de acordo com Huang et al. (2015).

O processo de peneiramento úmido durou 10 minutos e teve oscilação de 30 a 32 rpm, depois os agregados foram secos a 105 °C até obtenção de peso constante. Das seis repetições produzidas, três foram utilizadas para remoção e quantificação da fração areia (Figura 1), em cada classe de diâmetro analisada. Para extração da areia foram utilizadas em média 20 g de agregados, que passaram por processo de dispersão em 100 ml de NaOH (0,1 N) e agitação com 180 rpm durante 40 min, o material resultante foi colocado na peneira de 53  $\mu\text{m}$ , lavado em água corrente para posterior secagem em estufa a 105 °C até obtenção de peso constante e calculada a porcentagem de areia em cada fração de agregado.

**Figura 1-** Separação da areia dos agregados. a: amostras de agregados. b: introdução de solução dispersante nas amostras (100 ml de NaOH 0,1 N). c: lavagem após agitação. d: secagem do conteúdo de areia de cada fração de agregado.



Fonte: Própria autora

A partir dos agregados obtidos, por peneiramento úmido, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade do agregado (IEA), proposto por Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998), e adaptado por Perin (2002), de acordo com as equações:

$$DMP = \frac{\left\{ \left[ \left( \frac{m_i}{m_t} \right) * 100 \right] * x_i \right\}}{100}$$

onde:  $m_i$  = massa de solo retida na peneira  $i$ ,  $m_t$  = massa total inicial da amostra (25g),  $x_i$  = diâmetro médio (diferença entre as medidas de abertura da peneira na qual os agregados foram retidos e a imediatamente superior) e,

$$IEA = \left( \frac{MS - wp_{0,25} - \text{areia}}{MS - \text{areia}} \right) * 100$$

onde  $MS$  = massa seca da amostra (g) e  $wp_{0,25}$  = massa dos agregados da classe < 0,250 mm (g).

Os agregados, separados nos diâmetros indicados, foram analisados para carbono orgânico total (CO), segundo metodologia proposta por Ben-Dor e Banin (1989), que consiste em calcinar 2g de solo, por 8h, em mufla na temperatura de 400°C (Figura 2).

Agregados calcinados e não calcinados dos tratamentos CER, AD e ADR, (32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO) e dois diâmetros, no caso, os mesoagregados de 2000 a 1000 µm e os microagregados de 250 a 105 µm para AD e 32RO x 00RA e de 500 a 250 µm para CER, pois neste tratamento não se obteve quantidade suficiente de microagregados (250 a 105 µm) foram selecionados para observação detalhada por meio da microscopia eletrônica de varredura-MEV, sobre a contribuição do material orgânico na formação dos agregados em cada área (CER, ADR com 32 Mg ha<sup>-1</sup> RO e AD). A escolha do tratamento 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO x 00 Mg ha<sup>-1</sup> de RA se baseou no fato deste ter recebido a maior dose de resíduo.

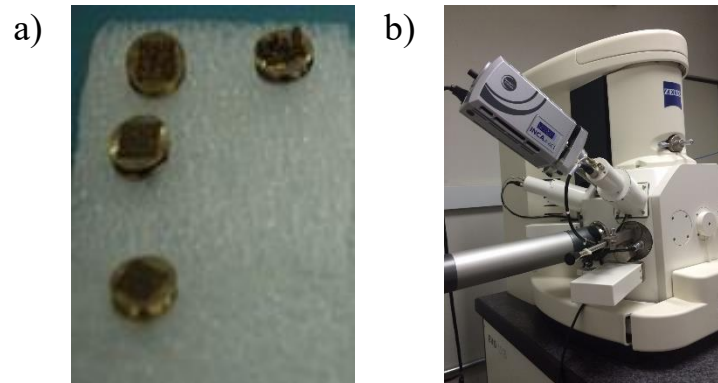
**Figura 2-** Amostras na mufla para determinação do COT.



Fonte: Própria autora

Estes agregados foram fixados nos porta amostras com fita dupla face de carbono e recobertos com ouro, em câmara de vácuo, utilizando o metalizador Quorum – Q150TE, com sputtering, foram necessários 05 recobrimentos para realização da análise. Estas amostras foram levadas à observação em microscopia eletrônica de varredura - MEV (WHITE, 2008) no microscópio modelo EVO/LS15 – ZEISS, com diferentes aumentos (Figura 3).

**Figura 3-** MEV – a: amostras recobertas com ouro. b: microscópio eletrônico de varredura.



Fonte: Própria autora

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial  $3 \times 4 + 2$ , três doses de RO, quatro doses de RA, e dois tratamentos adicionais (cerrado e área degradada sem intervenção) perfazendo um total de 14 tratamentos com 3 repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento e esquema citado. Uma vez apresentada diferença significativa entre os tratamentos estes foram comparados de três formas: teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ) para as comparações da testemunha e o controle com os tratamentos, teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação entre as 3 doses de RO e regressão para comparação entre as 4 doses de RA. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.4 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os macroagregados (4000 a 2000  $\mu\text{m}$ ) da ADR tem todos os seus tratamentos diferentes e com maior porcentagem que na AD, no entanto não atingiram ainda os mesmos valores que a testemunha, no caso o CER com 71,2 % (Tabela 1). O solo sob Cerrado se encontra estruturado, este encontra-se em local onde a cobertura vegetal está preservada, o solo não sofreu movimentação antrópica, o sistema radicular da vegetação está preservado, a adição de matéria orgânica ocorre via foliar, formando uma serapilheira e os microrganismos também estão presentes, enfim o solo sob CER encontra-se em condições adequadas à manutenção dos agregados do solo (SIX et al., 2006; FERNANDES et al., 2012; ZHOU et al., 2012; CHENG et al., 2015).

**Tabela 1-** Macroagregados de 4000 a 2000  $\mu\text{m}$  (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  (A), de 1000 a 500  $\mu\text{m}$  (B), de 500 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro) para os tratamentos AD, ADR e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação	Macro		A		B		C		Micro			
	RO	RA	----- % -----									
AD	00	00	22,54	#	13,99	#	20,77	#	17,82	#	11,52	#
	00	15	45,33	#°	14,43	#	15,99	#	11,93	#°	9,25	#
	00	30	58,29	°	9,62		10,88	#°	10,11	#°	6,96	#°
	00	45	52,01	#°	10,88	#	12,48	#°	10,05	#°	8,60	#
	00	45	51,79	#°	10,40		13,08	#°	11,44	#°	7,45	#
ADR	16	00	44,62	#°	9,73		16,48	#	13,81	#	9,51	#
	16	15	53,34	#°	9,18		13,28	#°	10,95	#°	7,01	#°
	16	30	48,66	#°	13,75	#	13,83	#°	11,18	#°	7,19	#°
	16	45	45,91	#°	11,99	#	15,47	#	11,66	#°	8,76	#
	32	00	43,59	#°	12,53	#	16,33	#	11,93	#°	9,12	#
	32	15	49,04	#°	11,62	#	13,35	#°	11,13	#°	8,55	#
	32	30	48,46	#°	12,04	#	14,13	#°	10,95	#°	7,71	#
CER			71,23	°	5,22	°	4,12	°	3,96	°	2,33	°
	p valor											
ADxADRxCER			0,0001		0,0006		0,0001		0,0001		0,0002	
CV (%)			19		28		27		30		32	

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

No caso de AD e ADR, onde não existe solo e sim subsolo exposto, as intervenções realizadas na ADR propiciaram o desenvolvimento de agregados, dando sinais de recuperação, por meio do incremento no percentual de agregados maiores, em relação a AD (Tabela 1). Estes são normalmente formados por microagregados, unidos entre si pela matéria orgânica (Tabela

1), Bonini, Alves e Montanari (2015) avaliando uma área degradada em recuperação com incorporação de resíduo orgânico, observaram contribuição de matéria orgânica e a ação das raízes para a formação de agregados do solo.

Analisando ainda os macroagregados, agora apenas na ADR (Tabela 2), observa-se que após 4 anos os resíduos aplicados não influenciam mais esta variável, fato que pode ser explicado pelo tempo de decomposição, Torres et al. (2005) e Diniz et al. (2016) relataram redução da matéria orgânica aos 40 dias após introdução ou incorporação ao solo. Cabe ressaltar que os valores para ADR variaram de 43,54 % a 58,29 %, enquanto AD contém apenas 22,54 % de macroagregados, valores bem menores que o menor valor encontrado para ADR (32RO x 00RA), sugerindo que o processo de agregação está acontecendo, até mesmo no tratamento em que a área foi apenas mecanizada, sem receber resíduos, pois a vegetação que está se estabelecendo, pode estar contribuindo para estes resultados.

Da mesma forma que, para macroagregados os tratamentos com resíduos na ADR não apresentam influência marcante destes sobre os agregados dos diâmetros analisados (Tabela 2), os agregados de diâmetro 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  da ADR se assemelham em porcentagem a AD, comportamento que muda novamente nos agregados menores (B e C), com porcentagens intermediárias entre a AD e CER.

Os microagregados, se assemelham a AD, sugerindo que as ações realizadas na ADR aumentaram a agregação do solo, no entanto, isto ainda não foi suficiente para alcançar o mesmo desenvolvimento do CER. Pode-se considerar, além de vários outros fatores (matéria orgânica, microrganismos, mineralogia, ciclos de umedecimento e secagem), que o tempo transcorrido, 4 anos é incipiente quando se analisa a formação do solo (BANWART, 2011; STOCKMANN; MINASNY; MCBRATNEY, 2014).

**Tabela 2-** Macroagregados de 4000 a 2000  $\mu\text{m}$  (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  (A), de 1000 a 500  $\mu\text{m}$  (B), de 500 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro), para os tratamentos ADR, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de  $R^2$  e ponto de máximo (Pmax).

Fontes de variação	Macro	A	B %	C	Micro
RO {	00 51,85a	11,22a	13,11a	10,88a	8,06a
16 48,14a		11,16a	14,77a	11,89a	8,12a
32 46,92a		11,87a	14,72a	11,47a	8,44a
RA {	00 44,51	12,23	16,27	12,55	9,29
15 53,56		10,14	12,50	10,73	7,51
30 49,71		12,22	13,48	10,73	7,83
45 48,09		11,23	14,51	11,66	8,20
p valor					
RO	0,1941	0,7301	0,2382	0,6269	0,8393
RA	0,0544	0,1727	0,0301	0,3807	0,1465
RO x RA	0,9708	0,1108	0,9934	0,9924	0,7558
CV (%)	20	28	27	32	29
B	Equação de regressão para o RA $\hat{y}^{**} = 16,03 - 0,27 + 0,01x^2$ $R^2 = 0,8599$				Pmax 13,5

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* = valores significativos para F ( $p < 0,01$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

Os agregados em desenvolvimento, demandam a presença de CO para sua estabilização (FERNANDES et al., 2012), mas os conteúdos de areia são também importantes, uma vez que um grão de areia pode ocupar o espaço de um microagregado, no macroagregado. Nos materiais em avaliação, nota-se, semelhança nos teores de areia dos macroagregados, entre AD, ADR e CER (Tabela 3).

O CER apresentou menor quantidade de agregados menores que 2000  $\mu\text{m}$  (Tabela 1), com conteúdo de areia de 78,75 a 98,04% (Tabela 3), indicando que as demais partículas (argila e silte) estão agregadas nos macroagregados, diferente de AD e ADR, onde os meso e microagregados dominaram a distribuição de tamanho de agregado em comparação com o CER (Tabela 1). Hontoria et al. (2016) também observaram a ocorrência de maior quantidade de areia nos agregados menores.

**Tabela 3-** Conteúdo de areia dos macroagregados de 4000 a 2000  $\mu\text{m}$  (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  (A), de 1000 a 500  $\mu\text{m}$  (B), de 500 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro) para os tratamentos ADR, AD e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		Macro	A	B	C	Micro
RO	RA	----- % -----				
AD		56,01	56,77 #	52,80 #	60,71 #	84,14
ADR	00 00	39,82	61,99 #	61,22 #	73,81 #	67,12 #
	00 15	42,65	61,03 #	57,56 #	56,99 #	76,36 #
	00 30	43,09	59,73 #	57,49 #	69,29 #	72,51 #
	00 45	43,96	57,65 #	58,94 #	68,07 #	76,01 #
	16 00	37,70 °	51,65 #	61,53 #	68,81 #	75,84 #
	16 15	43,26	57,24 #	57,79 #	66,95 #	78,36 #
	16 30	39,90	67,99 #	61,32 #	64,60 #	70,12 #
	16 45	27,89 # °	58,88 #	54,03 #	62,96 #	67,18 #
	32 00	43,53	54,49 #	50,88 #	61,58 #	67,74 #
	32 15	41,04	55,57 #	51,61 #	65,19 #	64,92 # °
	32 30	40,22	51,38 #	54,09 #	61,09 #	70,06 #
	32 45	47,15	52,26 #	51,32 #	59,19 #	67,39 #
CER		51,35	80,72 °	78,75 °	90,96 °	98,04
p valor						
ADxADRxCER		0,0247	0,0039	0,0299	0,0075	0,0009
CV (%)		17	12	15	13	10

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

Ao analisar os conteúdos de areia dos agregados para os tratamentos na ADR (Tabela 4), observa-se que não há influência significativa destes sobre esta variável, embora exista uma tendência de redução nos teores de areia dos agregados quando aumenta a dose de RO, resgatando a importância diferencial do CO neste processo (VERCHOT et al., 2011; SANTOS et al., 2011; BAST et al., 2014), posto que a mineralogia, fato a ser considerado, é homogênea dentro da área.

**Tabela 4-** Conteúdo de areia nos macroagregados de 4000 a 2000  $\mu\text{m}$  (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  (A), de 1000 a 500  $\mu\text{m}$  (B), de 500 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$  (Micro), para os tratamentos com doses de RO e RA, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão e valores de  $R^2$ .

Fonte de variação	Macro	A	B	C	Micro	
	-----%-----					
RO {	00	42,55a	59,98a	58,64a	66,59a	73,39a
	16	37,19a	58,94a	58,67a	65,83a	72,87a
	32	42,98a	53,43a	51,97a	61,76a	67,53a
RA {	00	40,35	56,04	57,88	68,07	70,23
	15	42,35	58,25	55,85	62,44	73,53
	30	41,27	59,71	57,62	65,42	71,06
	45	40,09	56,40	55,18	63,87	70,77
p valor						
RO	0,0904	0,0887	0,0939	0,3633	0,1496	
RA	0,8868	0,6986	0,8681	0,5757	0,8078	
RO x RA	0,1759	0,3692	0,9501	0,4135	0,4316	
CV (%)	17	13	15	14	11	

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração da própria autora

No CER os macroagregados mantiveram-se estáveis, passando poucos agregados para as malhas menores (Tabelas 1 e 3), enquanto nos outros tratamentos os macroagregados, de formação mais recente, foram desestabilizados e separados em agregados menores sugerindo maior fragilidade estrutural, afirmativa baseada nos achados de Six et al. (2006), onde explica que os agregados de menor estabilidade se fragmentam em agregados menores e os microagregados são classificados como mais estáveis e menos suscetíveis a práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados (SIX et al., 2004), mas também é nesta fração dos agregados que encontramos a maior quantidade de areia, explicando a ausência de resposta a qualquer tipo de manejo.

O DMP do CER (testemunha) é o maior e difere dos demais, devido ao maior aporte de material vegetal em subsuperfície, como encontrado por Loss et al. (2011), em estudo comparando um Cerradão natural com áreas implantadas em sistema de plantio direto, com e sem integração lavoura-pecuária, corroborando a melhor agregação observada no CER em relação a AD e ADR, os dois últimos em processo de recuperação ou formação. Na AD (controle) o DMP de 1,17 mm foi o menor e difere dos demais, colocando estatisticamente a ADR em condição intermediária entre AD e CER (Tabela 5), mostrando que aliado ao comportamento dos agregados, o DMP também está aumentando (CASTRO FILHO MUZILLI; PODANOSCHI, 1998), e após 4 anos já não é influenciado pelos tratamentos de ADR (Tabela 6).

**Tabela 5-** Diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregado (IEA) para os tratamentos, ADR, AD e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fonte de variação		DMP		IEA	
RO	RA	mm		%	
AD		1,17	#	78,62	#
ADR	00	1,76	#°	82,75	#
	00	2,07	°	87,36	°
	00	1,91	#°	84,41	#
	00	1,90	#°	86,28	#
	16	1,71	#°	83,37	#
	16	1,93	#°	87,01	#°
	16	1,96	#°	86,61	#°
	16	1,77	#°	86,29	#
	32	1,71	#°	83,83	#
	32	1,84	#°	85,31	#
CER	32	1,84	#°	86,63	#°
	32	1,79	#°	85,94	#
		2,43	°	95,05	°
p valor					
ADxADRxCER		0,0001		0,0004	
CV (%)		13		5	

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 6-** Diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregado (IEA) para os tratamentos ADR, com doses de RO e RA, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de R<sup>2</sup> e ponto de máximo (Pmax).

Fonte de variação		DMP	IEA
		mm	%
RO	00	1,91a	85,20a
	16	1,82a	85,82a
	32	1,79a	85,18a
RA	00	1,73	83,32
	15	1,95	86,56
	30	1,87	85,88
	45	1,82	85,84
p valor			
RO		0,2319	0,8466
RA		0,0638	0,1354
RO x RA		0,9785	0,9145
CV (%)		13	5
Equação de regressão			Pmax
DMP	$\hat{y}^* = 1,74 + 0,02x - 0,0003x^2$	R <sup>2</sup> = 0,7961	33,3

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* = valores significativos para F (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

O CER apresenta o maior IEA (95,05 %) e AD o menor (78,62 %) estando ADR estatisticamente menor que CER e superando AD, em apenas alguns tratamentos, mas sinaliza incrementos, porém o uso do IEA neste trabalho não evidenciou estatisticamente as

contribuições do processo de recuperação estabelecido na ADR, uma vez que o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados, portanto, quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998).

Analisando o teor de CO dentro de cada diâmetro de agregado avaliado, verifica-se que apenas nos macroagregados o CER supera todos os demais tratamentos (Tabela 7) com 48,94 mg g<sup>-1</sup>, praticamente o dobro do que foi encontrado na AD e em alguns tratamentos dentro de ADR (16RO x 00RA, 16RO x 30RA, 16RO x 45RA) e ADR supera, para os macroagregados, os teores de CO de AD nos tratamentos 00RO x 15RA, 00RO x 30RA, 32RO x 15RA, 32RO x 30RA, fato que pode ser explicado pela maior contribuição de CO via material vegetal no CER em relação a AD e ADR, cuja cobertura vegetal é inexistente ou ainda incipiente (LOSS et al., 2011).

A estabilidade dos agregados maiores é dependente da estabilidade dos menores e dos conteúdos de CO, segundo Fernandes et al. (2012) a agregação está diretamente ligada ao teor de matéria orgânica ou CO do solo, verifica-se então que alguns tratamentos sinalizam melhora.

**Tabela 7-** Quantidade de carbono orgânico total (CO) nos macroagregados de 4000 a 2000 µm (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000 µm (A), de 1000 a 500 µm (B), de 500 a 250 µm (C) e microagregados de 250 a 53 µm (Micro), para os tratamentos, ADR, AD e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fonte de variação		Macro		A		B		C		Micro	
RO	RA	----- mg g <sup>-1</sup> -----									
AD		24,90	#	20,61	#	19,94	#	18,80		12,68	#
	00 00	27,34	#	19,22	#	22,36	#	21,37	#°	11,78	#
	00 15	30,52	#°	21,42	#	23,96	#°	20,58	#	19,60	°
	00 30	28,70	#°	30,40	#°	30,51	°	25,04	#°	21,26	°
	00 45	27,27	#	19,88	#	21,85	#	20,28		19,08	°
	16 00	23,92	#	22,28	#	25,64	#°	21,28	#°	20,21	°
ADR	16 15	27,61	#	20,19	#	25,52	#°	22,47	#°	13,68	#
	16 30	22,03	#	20,58	#	22,45	#	19,60		20,13	°
	16 45	24,81	#	27,49	°	27,71	#°	23,11	#°	20,46	°
	32 00	26,54	#	22,11	#	22,86	#°	24,39	#°	23,18	#°
	32 15	31,85	#°	27,70	°	20,01	#	20,66	#	20,65	°
	32 30	30,25	#°	28,70	°	28,96	°	27,45	#°	25,34	#°
	32 45	26,76	#	27,20	°	19,42	#	19,62		17,91	°
CER		48,94	°	25,85	°	31,09	°	18,44		19,62	°
p valor											
ADxADRxCER		0,0001		0,0001		0,0001		0,0001		0,0001	
CV (%)		5		5		5		4		6	

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

Para os macroagregados e meso A (2000 a 1000  $\mu\text{m}$ ), o CER supera AD em teor de CO, resultado corroborado por Loss et al. (2011), que constataram que os macroagregados no Cerradão apresentam maior teor de CO, Briedis et al. (2012) e Hontoria et al. (2016) afirmaram que os macroagregados apresentam maiores teores de CO e que o CO diminuiu com a redução no diâmetro do agregado. No caso do meso A, o CER apresenta conteúdos idênticos a ADR nos tratamentos onde foram aplicados 32  $\text{Mg ha}^{-1}$  de RO combinados com RA e 16  $\text{Mg ha}^{-1}$  de RO com 45  $\text{Mg ha}^{-1}$  de RA, destacando nesta situação a contribuição da combinação das maiores doses de um ou outro resíduo.

Para os mesoagregados 1000 a 500  $\mu\text{m}$  e de 500 a 250  $\mu\text{m}$ , o comportamento do CO foi bastante variável entre os tratamentos ADR, CER e AD, no entanto, o CER sempre apresentou os maiores valores de CO, sugerindo que a mecanização do subsolo intensificou a mineralização do CO, que poderia estar protegido dentro dos agregados (ELLIOTT, 1986) e AD junto com alguns tratamentos de ADR apresentaram os menores conteúdos de CO. O comportamento para os microagregados muda um pouco, apresentando na maioria dos tratamentos de ADR conteúdos de CO semelhantes ao CER e maiores do que na AD, indicando que o processo de recuperação imposto está promovendo a incorporação de CO aos agregados, pois os valores encontrados superam os já existentes em AD.

A AD mesmo sem aporte claro de matéria orgânica ainda possui CO, que pode estar presente no solo desde antes da degradação, quando o solo ainda era colonizado por vegetação nativa e se apresentava em equilíbrio com o ecossistema, onde parte do CO era mineralizado rapidamente e o restante degradou-se mais lentamente, permanecendo no solo nas camadas mais profundas por centenas ou milhares de anos (SANTOS et al., 2011) o que explica a presença de CO no subsolo na AD, Ciarkowska, Gargiulo, Mele (2016) relataram que o carbono encontrado no subsolo não era derivado apenas de adições recentes de matéria orgânica, mas de resíduos que continham carbono fóssil.

Analisando apenas os tratamentos dentro de ADR (Tabela 8), encontraram-se efeitos positivos da adição de RO sobre macroagregados, microagregados e mesoagregados, exceto para o diâmetro 1000 a 500  $\mu\text{m}$ , onde a contribuição não ocorre. RA também influenciou o CO dos agregados de modo significativo, com comportamento quadrático e indicando a dose de 35  $\text{Mg g}^{-1}$  como suficiente para aumentar o CO dos agregados, sugerindo que a adição de dose maior é desnecessária com relação ao teor de CO dos agregados.

Na ausência de RA, a adição de RO foi importante na introdução de CO nos macroagregados, mas na presença de RA as variações foram muitas, não deixando explícito um comportamento.

**Tabela 8-** Valores médios para carbono orgânico (CO) nos macroagregados de 4000 a 2000 µm (Macro), mesoagregados de 2000 a 1000 µm (A), de 1000 a 500 µm (B), de 500 a 250 µm (C) e microagregados de 250 a 53 µm (Micro), para os tratamentos de ADR, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de R<sup>2</sup> e ponto de máximo (Pmax).

Fonte de variação	Macro	A	B	C	Micro
	----- mg g <sup>-1</sup> -----				
RO {	00 28,46a	22,73b	24,67a	21,82b	17,93b
16	24,59b	22,64b	25,33a	21,61b	18,62b
32	28,85a	26,43a	22,81b	23,02a	21,77a
RA {	00 25,93	21,20	23,62	22,35	18,39
15	29,99	23,10	23,16	21,24	17,97
30	26,99	26,56	27,31	24,03	22,25
45	26,28	24,86	22,99	21,00	19,15
p valor					
RO	0,0000	0,0000	0,0001	0,0008	0,0000
RA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
RO x RA	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CV (%)	4	5	5	4	6
	Equações de regressão para o RA				Pmax
Macro	$\hat{y}^{**} = 26,40 + 0,23x - 0,01x^2$		$R^2 = 0,5748$		11,5
A	$\hat{y}^{**} = 20,87 + 0,28x - 0,004x^2$		$R^2 = 0,8579$		35,0
B	$\hat{y}^{**} = 22,97 + 0,21x - 0,004x^2$		$R^2 = 0,3182$		26,0
C	$\hat{y}^{**} = 21,86 + 0,09x - 0,002x^2$		$R^2 = 0,1746$		23,0
Micro	$\hat{y}^{**} = 17,79 + 0,18x - 0,003x^2$		$R^2 = 0,3517$		30,0

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* = valores significativos para F (p < 0,01).

Fonte: Elaboração da própria autora

O desdobramento da interação RO x RA para CO dentro dos agregados de ADR (Tabela 9) mostra efeitos positivos em algumas situações, por exemplo na ausência de RO, a adição de RA aumentou o CO até a dose de 30 Mg g<sup>-1</sup>, doses maiores não influenciam o CO dos agregados que começa a diminuir, reforçando o comportamento quadrático relatado (Tabela 8), mas na presença de RO este comportamento é muito variável.

Com a observação das imagens geradas em MEV, para Mesoagregados (2000 - 1000 µm) do CER, foi possível observar poros, agregados com matéria orgânica (MO), presença de hifas, raízes e “fezes” de algum organismo (Figura 4 – a, d, g, j, m), apresentando-se diferente dos tratamentos AD e ADR (32RO x 00RA), particularmente em relação aos conteúdos bióticos, e explicando a maior estabilidade encontrada para os agregados do CER em relação aos demais tratamentos, reforçando o importante papel do material biótico na agregação do solo e da agregação na proteção do CO nos agregados (ZOTARELLI et al., 2007; TIVET et al., 2013; HONTORIA et al., 2016).

**Tabela 9-** Desdobramento da interação de RO e RA para carbono orgânico (CO) dos macroagregados de 4000 a 2000  $\mu\text{m}$ , mesoagregados de 2000 a 1000  $\mu\text{m}$  (A), de 1000 a 500  $\mu\text{m}$  (B), de 500 a 250  $\mu\text{m}$  (C) e microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$ , médias, significância, equações de regressão, valores de  $R^2$ , p valor e ponto de máximo (Pmax).

RA		Macroagregados				Equação de regressão			
RO	0**	15**	30**	45*		$R^2$	p valor	Pmax	
0**	27,34a	30,52a	28,70a	27,27a	$\hat{y}^{**} = 27,61 + 0,22x - 0,01x^2$	0,7923	0,0019	22,0	
16**	23,92b	27,61b	22,03b	24,81b	$\hat{y}^{ns}$		0,0000		
32**	26,54a	31,85a	30,25a	26,54ab	$\hat{y}^{**} = 26,79 + 0,43x - 0,01x^2$	0,9392	0,0000	21,5	

RA		A				Equação de regressão			
RO	0**	15**	30**	45**		$R^2$	p valor	Pmax	
0**	19,22b	21,42b	30,40a	19,88b	$\hat{y}^{**} = 17,91 + 0,71x - 0,01x^2$	0,5733	0,0000	35,5	
16**	22,28a	20,19b	20,58b	27,49a	$\hat{y}^{**} = 22,49 - 0,34x + 0,01x^2$	0,9760	0,0000	17,0	
32**	22,11a	27,30a	28,70a	27,20a	$\hat{y}^{**} = 22,21 + 0,46x - 0,01x^2$	0,9916	0,0000	23,0	

RA		B				Equação de regressão			
RO	0**	15**	30**	45**		$R^2$	p valor	Pmax	
0**	22,36b	23,96a	30,51a	21,85b	$\hat{y}^{**} = 21,35 + 0,55x - 0,01x^2$	0,5763	0,0000	27,5	
16**	25,64a	25,52a	22,45b	27,71a	$\hat{y}^{**} = 26,20 - 0,25x + 0,01x^2$	0,5492	0,0003	12,5	
32**	22,86b	20,01b	28,96a	19,42b	$\hat{y}^{**} = 21,35 + 0,33x - 0,01x^2$	0,1973	0,0000	16,5	

RA		C				Equação de regressão			
RO	0**	15*	30**	45**		$R^2$	p valor	Pmax	
0**	21,37b	20,58b	25,04b	20,28b	$\hat{y}^{**} = 20,65 + 0,21x - 0,004x^2$	0,2777	0,0000	26,3	
16**	21,28b	22,47b	19,59c	23,11a	$\hat{y}^{ns}$		0,0002		
32**	24,39a	20,66a	27,45a	19,62b	$\hat{y}^{**} = 23,13 + 0,16x - 0,01x^2$	0,1826	0,0000	8,0	

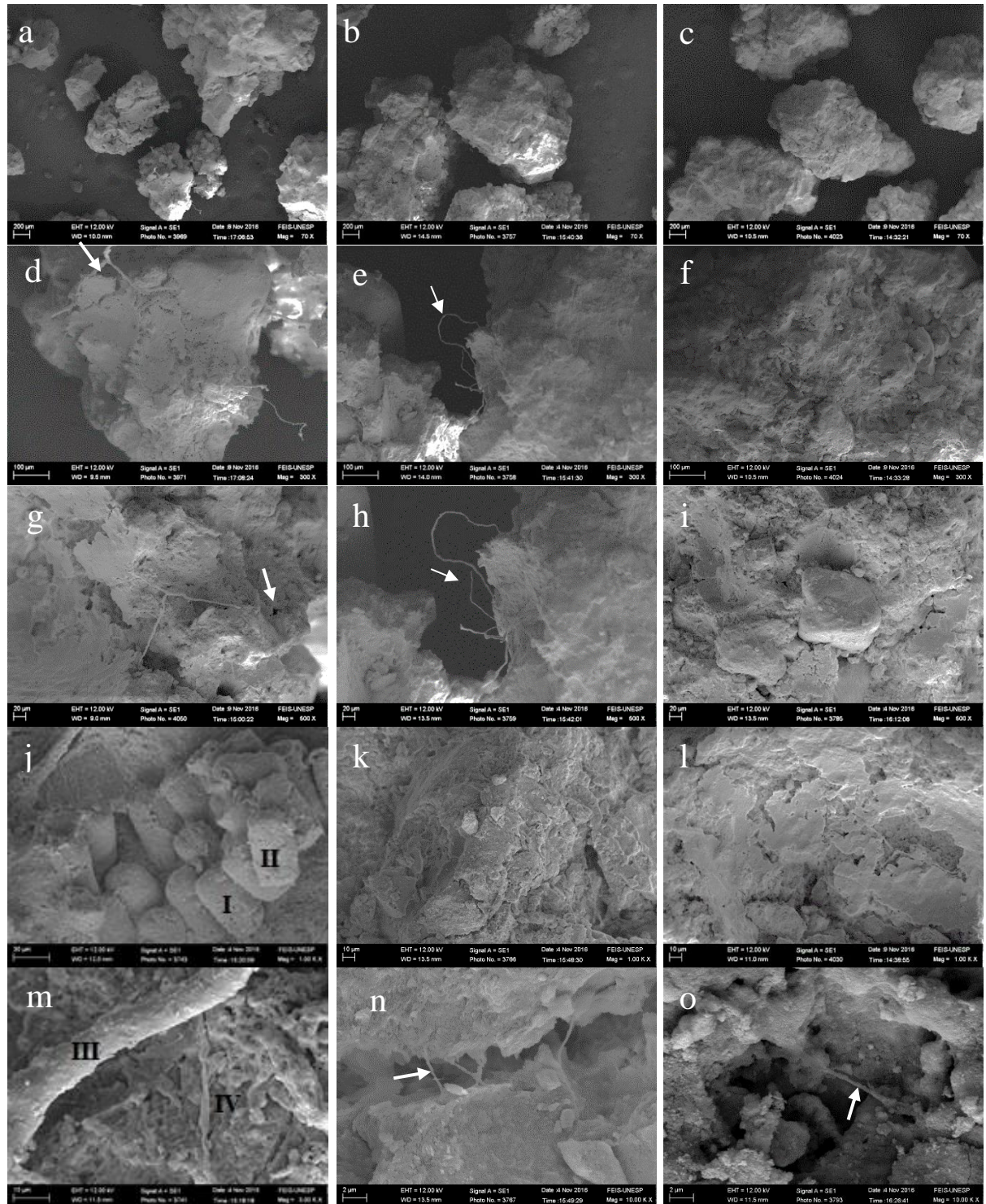
  

RA		Microagregados				Equação de regressão			
RO	0**	15**	30**	45*		$R^2$	p valor	Pmax	
0**	11,78c	19,59a	21,26b	19,08ab	$\hat{y}^{**} = 11,89 + 0,66x - 0,01x^2$	0,9950	0,0000	33,0	
16**	20,21b	13,68b	20,31b	20,46a	$\hat{y}^{**} = 19,25 - 0,29x + 0,01x^2$	0,4409	0,0000	14,5	
32**	23,18a	20,65a	25,34a	17,91b	$\hat{y}^{**} = 22,22 + 0,17x - 0,01x^2$	0,3941	0,0000	8,5	

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>= valores não significativos; <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>= valores significativos para F ( $p < 0,01$  e  $< 0,05$ , respectivamente).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Figura 4-** Mesoagregados (2000 - 1000  $\mu\text{m}$ ) do CER, AD e ADR (32RO x 00RA) observados na MEV em diferentes aumentos. I: altura do “objeto” = 65,40  $\mu\text{m}$ . II: diâmetro = 37,70  $\mu\text{m}$ , III: diâmetro da raiz = 9,339  $\mu\text{m}$ . IV: diâmetro da “hifa” = 2,462  $\mu\text{m}$ . Tratamento CER: a, d, g, j, m, p, r. Tratamento AD: b, e, h, k, n, q. Tratamento ADR: c, f, i, l, o.



Fonte: Própria autora

Na AD, degradada desde a década de 60, foram encontrados agregados estáveis em água (2000 a 1000  $\mu\text{m}$ ) com presença de MO (Tabelas 1 e 7 e Figura 4 – h, e, n), local onde, atualmente, não se observa presença de vegetação, indicando pobreza no aporte de MO para auxiliar na agregação e estruturação do solo (FERNANDES et al., 2012; ZHOU et al., 2012; CHENG et al., 2015). No entanto, AD e ADR (32RO x 00RA) contém CO (Tabela 7, Figura 4 - n, o) como contribuição dos microrganismos, cujas hifas parecem estar “costurando” um microagregado ao outro para formação de um agregado maior, corroborando observações feitas por outros autores em seus relatos sobre as atividades de minhocas e fungos como agentes vinculados a formação de micro e macroagregados (SHIPITALO; PROTZ, 1989; BAROIS et al., 1993).

Outra fonte de CO, neste caso específico, pode estar vinculada à proteção do CO dentro dos agregados (ELLIOTT, 1986) devido à formação destes microagregados dentro dos macroagregados, com estabilização de CO não só de hifas, mas também de exudatos de pequenas raízes (SIMPSON et al., 2004; BOSSUYT et al. 2004, 2005; PULLEMAN et al., 2005 a, b; FONTE et al., 2007, 2010).

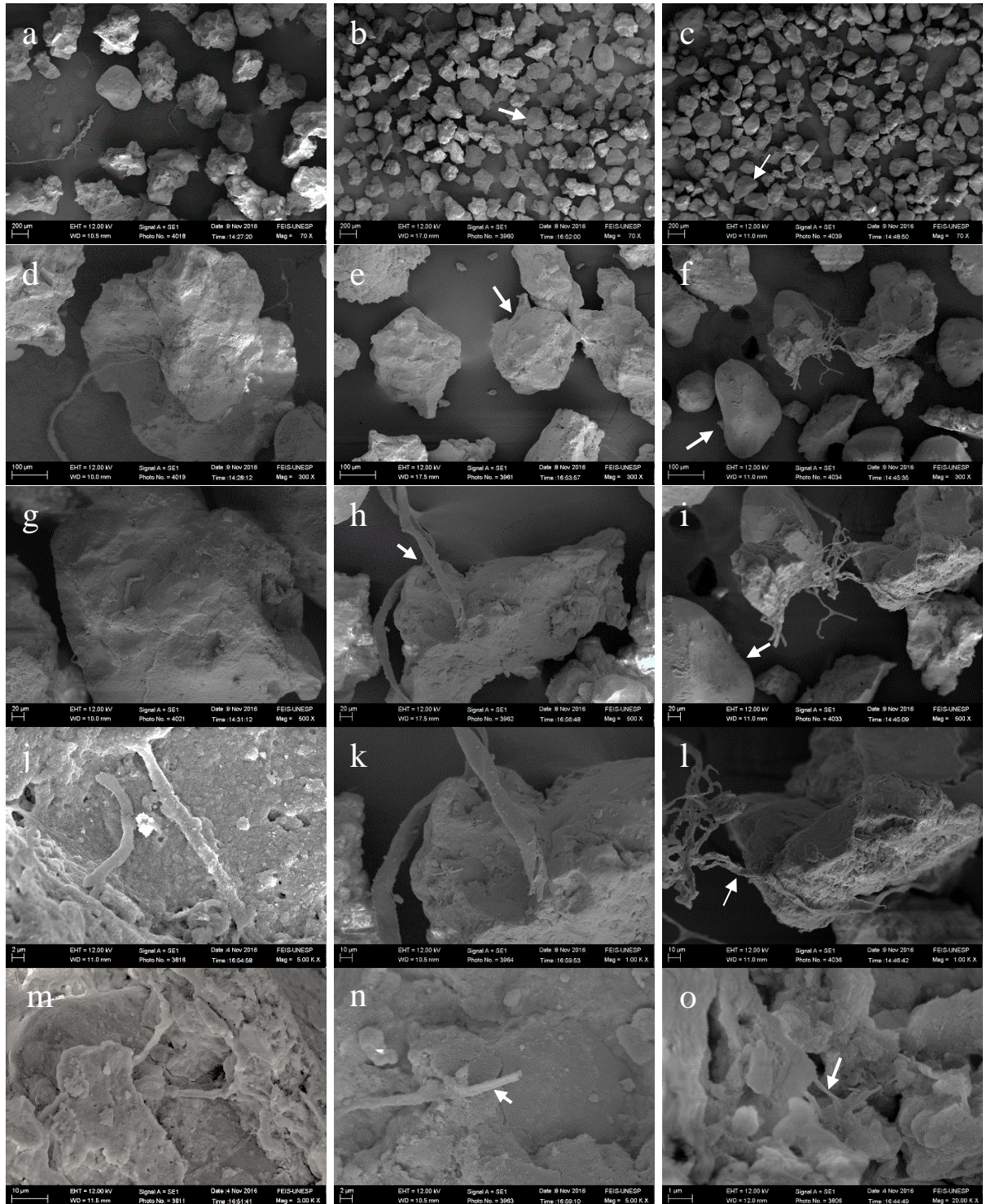
Nos agregados menores a quantidade de material orgânico observada foi maior (Figura 5), no entanto, é importante destacar que no CER e ADR (32RO x 00RA) o material orgânico foi observado em maior abundância, mas AD também contém material orgânico (Figura 5).

A cobertura vegetal, ainda incipiente, pode não estar influenciando diretamente a agregação das partículas, mas a associação das pequenas raízes e seus exudatos, hifas, matéria orgânica, além dos agentes inorgânicos como as argilas silicatadas e os óxidos de ferro que estão presentes nos solos da região e que serão de ocorrência comum também no local em estudo (KIEHL, 1979; DEMATTÊ, 1980; MALTONI, 1994; BASTOS et al., 2005; SIX et al., 2006).

Dentre os microagregados da AD, no geral há bastante grãos de quartzo, ao invés de agregados (Figura 5 – b, e), só com aumento da magnitude acima de 500  $\mu\text{m}$  observou-se presença de material orgânico, possíveis hifas (Figura 5 – h, k, n).

Quando comparado o AD com o tratamento ADR (32RO x 00RA) verificou-se a ocorrência de poros nos agregados (Figuras 4 e 5). Zhang et al. (2015) concluíram que o resíduo agroindustrial (biochar) pode aumentar a proteção física do carbono por meio da agregação das partículas do solo, no entanto neste estudo, a maior quantidade de CO foi encontrada no tratamento sem adição de RA (32RO x 00RA) nos Mesoagregados (500 a 250  $\mu\text{m}$ ) e microagregados (Tabela 7).

**Figura 5-** Mesoagregados (500 - 250  $\mu\text{m}$ ) do CER e microagregados (250 a 53  $\mu\text{m}$ ) de AD e ADR (32RO x 00RA), observados na MEV em diferentes aumentos. Tratamento CER: a, d, g, j, m. Tratamento AD: b, e, h, k, n. Tratamento ADR: c, f, i, l, o.



Fonte: Própria autora

Nos microagregados de ADR (32RO x 00 RA) observou-se maior quantidade de quartzo (Figura 5 – c, f, i), cujos grãos têm tamanho de agregado e o material orgânico presente tem aparência de hifas (Figura 5 – l, o).

Ao se comparar os mesoagregados (500 a 250  $\mu\text{m}$ ) calcinados e não calcinados, do CER (Figura 6 – a, b) e microagregados (250 a 53  $\mu\text{m}$ ) dos tratamentos AD e ADR (32RO x 00 RA) calcinados e não calcinados, notou-se redução no tamanho dos agregados (Figura 6 – a, b; e, f; g, h), comportamento que mostra a importância do carbono na manutenção da agregação do solo, porém vários outros aspectos poderiam ser abordados, relacionando temperaturas elevadas e estabilidade de agregados (JIMÉNEZ-PINILLA et al., 2016). O fato é que ao elevar a temperatura a 400°C por 8h ocorreu fragmentação dos agregados, a princípio por redução dos conteúdos de matéria orgânica.

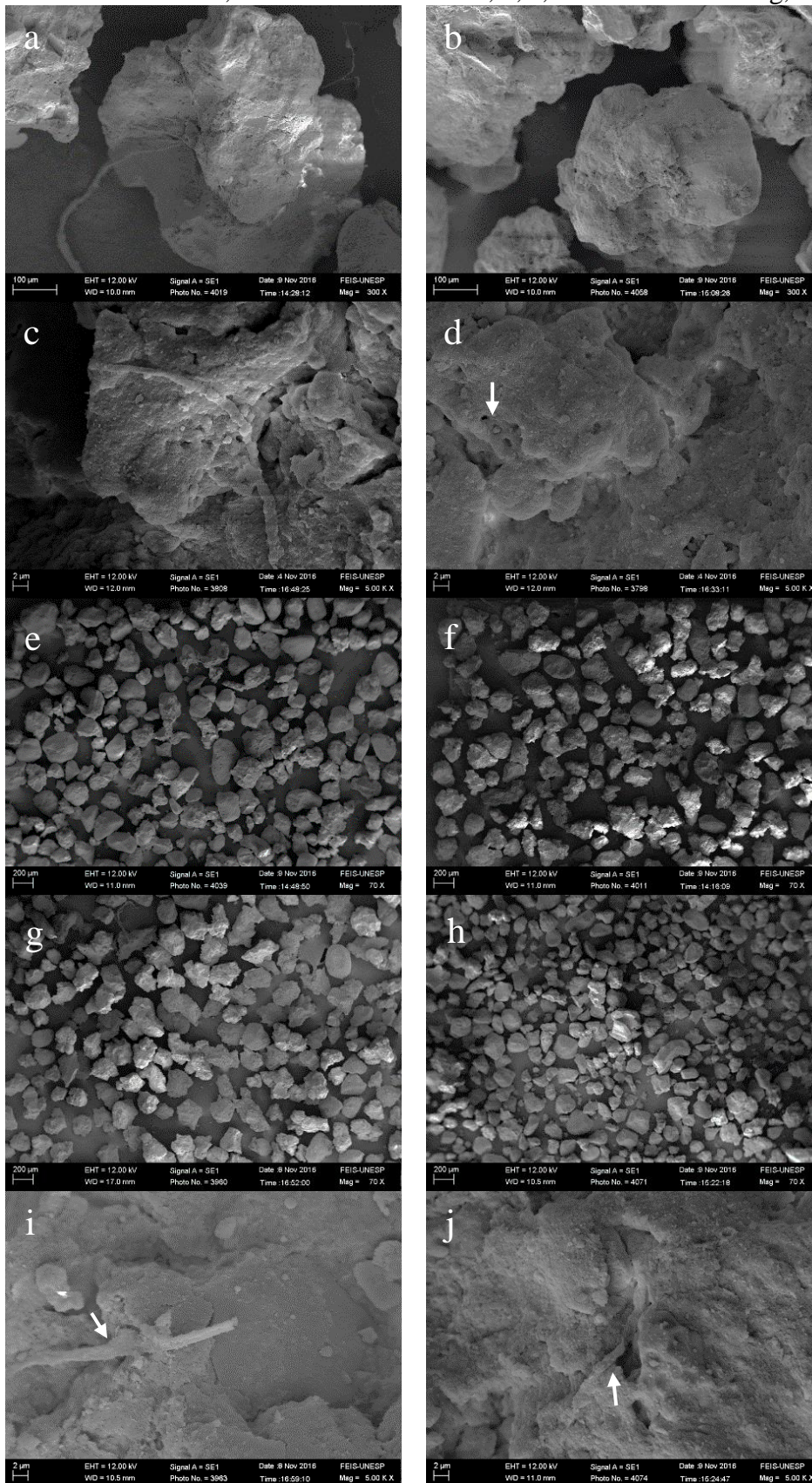
Os agregados, embora calcinados a 400 °C durante 8h, ainda apresentaram algum material orgânico (Figura 6 – j). A partir dos dados obtidos é possível sugerir o uso de RO em recuperação de área degradada, como corroborado por Zhang et al. (2015) e o uso de RA como Zhang et al. (2012), com intuito de adicionar material orgânico ao solo.

No tratamento 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO x 00 Mg ha<sup>-1</sup> de RA os microagregados de 250 a 53  $\mu\text{m}$ , calcinados apresentaram apenas poros (Figura 6 – d), não se observou presença de material orgânico, o que pode ser atribuído ao fato do RO adicionado se caracterizar como um material mais recente e de mais rápida decomposição (SAMPAIO; OLIVEIRA, 2005) ou que tenha sido calcinado completamente.

Os agregados que foram calcinados a 400 °C durante 8h, tiveram seu tamanho reduzido (Figura 6 – a/b; e/f e g/h), mas ainda apresentaram hifas, porém em diferentes proporções entre as amostras calcinadas e não calcinadas (Figura 6 – i, j).

A partir dos dados obtidos é possível sugerir o uso de RO em projetos de recuperação de área degradada, como corroborado por Zhang et al. (2015) e o uso de RA como Zhang et al. (2012), com intuito de adicionar material orgânico ao solo.

**Figura 6-** Mesoagregados (500 – 250  $\mu\text{m}$ ) CER; microagregados (250 - 53  $\mu\text{m}$ ) para ADR (32RO x 00RA) e AD não calcinados (a, c, e, g, i) e calcinados (b, d, f, h, j) em diferentes aumentos. Tratamento CER: a, b. Tratamento ADR: c, d, e, f. Tratamento AD: g, h, i, j.



Fonte: Própria autora

## 4 CONCLUSÕES

O conjunto das ações realizadas para melhorar as condições edáficas do subsolo exposto promove aumento da agregação em relação a AD.

Com a incorporação de resíduos e o plantio de mudas, há aumento em pelo menos 100 % nos macroagregados de ADR em relação à AD.

O DMP aponta a recuperação de ADR, em relação a AD, podendo ser utilizado como indicador do processo de recuperação.

Os resíduos utilizados, em suas maiores doses ( $32 \text{ Mg ha}^{-1}$  de RO e  $45 \text{ Mg ha}^{-1}$  de RA), foram importantes para o aporte de CO nos agregados.

A porcentagem dos macroagregados pode ser utilizada como indicadora da recuperação das condições edáficas do ambiente degradado, comparativamente ao ambiente preservado e, conseqüentemente, da qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ASENSIO, V.; COVELO, E. F.; KANDELER, E. Soilmanagement of coppermine tailing soils - sludge amendment and tree vegetation could improve biological soil quality. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 456-457, p. 82-90, 2013.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3, p. 215-230, 2000.
- BANWART, S. Save our soils. **Nature**, London, v. 474, p.151-152, 2011.
- BAROIS, I.; VILLEMEN, G.; LAVELLE, P.; TOUTAIN, F. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 57-66, 1993.
- BAST, A.; WILCKE, W.; GRAF, F.; LÜSCHER, P.; GÄRTNER, H. The use of mycorrhiza for ecoengineering measures in steep alpine environments: effects on soil aggregate formation and fine-root development. **Catena**, Amsterdam, v. 39, n. 13, p. 1753–1763, 2014.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. **Communication in Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1675-1695, 1989.
- BISDOM, E. B. A.; DEKKER, L. W.; SCHOUTE, J. F. T. H. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure.. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1-4, p. 105-118, 1993.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, Recife, v.10, n.1, p.34-42, 2015.
- BOSSUYT, H.; SIX, J.; HENDRIX, P. Rapid incorporation of carbon from fresh residue into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. **European Journal of Soil Science**, West Sussex, v. 55, p. 393-399, 2004.
- BOSSUYT, H., SIX, J., HENDRIX, P. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 37, p. 251-258, 2005.

- BOTTINELLI, N.; HENRY-DES-TUREAUX, T.; HALLAIRE, V.; MATHIEU, J.; BENARD, Y.; DUC TRAN, T.; JOUQUET, P. Earthworms accelerate soil porosity turnover under watering conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 1-2, p. 43-47, 2010.
- BRIEDIS, C.; de MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; de FÁTIMA NAVARRO, J.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; DOS SANTOS, J. B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, p. 80-88, 2012.
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; ASENSIO, C.; CHAMIZO, S.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Aggregate stability in range sandy loam soils. Relationships with runoff and erosion. **Catena**, Amsterdam, v. 77, p. 192-199, 2009.
- CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 55, p. 1407-1413, 1991.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CHENG, M.; XIANG, Y.; XUE, Z.; AN, S.; DARBOUX, F. Soil aggregation and intra-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau, China. **Catena**, Amsterdam, v. 124, p. 77-84, 2015.
- CIARKOWSKA, K.; GARGIULO, L.; MELE, G. Natural restoration of soils on mine heaps with similar technogenic parent material: A case study of long-term soil evolution in Silesian-Krakow Upland Poland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 261, p. 141-150, 2016.
- DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 119 p
- DINIZ, I. C. C.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; AQUINO, J. M. G. L.; MATOS, M. P. Degradation of sewage sludge compost disposed on the soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 822-829, 2016.
- DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. New York: Earthscan, 2009. p. 13-32.
- ELLIOTT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 627-633, 1986.
- FERNANDES, M. M.; CARVALHO, M. G. C.; ARAUJO, J. M. R.; MELO, F. R., SILVA, C. A.; SAMPAIO, F. M. T.; LOBATO, M. G. R. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no Cerrado piauiense. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 453-459, 2012.

- FONTE, S. J.; KONG, A. Y. Y.; VAN KESSEL, C.; HENDRIX, P. F.; SIX, J. Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 39, p. 1014-1022, 2007.
- FONTE, S. J.; BARRIOS, E.; SIX, J. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 320-328, 2010.
- HALLAIRE, V.; CURMI, P. Image analysis of pore space morphology in soil sections, in relation to water movement. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, v. 22, p. 559-567, 1993.
- HEMMAT, A.; AGHILINATEGH, N.; SADEGHI, M. Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. **Biosystems Engineering**, Camden, v. 107, n. 3, p. 251-261, 2010.
- HONTORIA, C.; GÓMEZ-PACCARD, C.; MARISCAL-SANCHO, I.; BENITO, M.; PÉREZ, J.; ESPEJO, R. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 160, p. 42-52, 2016.
- HUANG, M.; LIANG, T.; WANG, L.; ZHOU C. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat-maize double cropping system. **Catena**, Amsterdam, v. 128, p. 195-202, 2015.
- HUOT, H.; SIMONNOT, M. O.; WATTEAU, F.; MARION, P.; YVON, J.; DE DONATO, P.; MOREL, J. L. Early transformation and transfer processes in a technosol developing on iron industry deposits. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 65, n. 4, p. 470-484, 2014.
- JANGORZO, N. S.; WATTEAU, F.; SCHWARTZ, C. Evolution of the pore structure of constructed technosols during early pedogenesis quantified by image analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 207-208, p. 180-192, 2013.
- JANGORZO, N. S.; SCHWARTZ, C.; WATTEAU, F. Image analysis of soil thin sections for a non-destructive quantification of aggregation in the early stages of pedogenesis. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 65, n. 4, p. 485-498, 2014.
- JIMÉNEZ-PINILLA, P.; MATAIX-SOLERA J.; ARCENEGUI, V.; DELGADO, R. MARTÍN-GARCÍA, J. M.; LOZANO, E.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; JORDÁN, A. Advances in the knowledge of how heating can affect aggregate stability in Mediterranean soils: a XDR and SEM-EDX approach. **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 315-324, 2016.
- KABAS, S.; FAZ, A.; ACOSTA, J. A.; AROCENA, J. M.; ZORNOZA, R.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S.; CARMONA, D. M. Marble wastes and pig slurry improve the environmental and plant-relevant properties of mine tailings. **Environmental Geochemistry Health**, Dordrecht, v. 36, n. 1, p. 41-54, 2014.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S.; Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, Madison, 1965. p. 511-519.

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

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.). **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126.

KRZAKLEWSKI, W.; BARSZCZ, J.; MAŁEK, S.; KOZIOŁ, K.; PIETRZYKOWSKI, M. Contamination of forest soils in the vicinity of the sedimentation pond after zinc and lead ore flotation (in the region of Olkusz, southern Poland). **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v. 159, p. 151-164, 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MALTONI, K. L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em superfície de Latossolo sob diferentes usos**. 1994. 139 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

MERMUT, A. R.; GREVERS, M. C. J.; JONG, E de. Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 357-372, 1992.

MIZOBATA, K. K. G. S.; SANTOS, C. M.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Growth of *Hymenaea stigonocarpa* as a function of the addition of residues in degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 223-229, 2016.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. M. Data-driven analysis of soil quality indicators using limited data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 235 – 236, p. 271-278, 2014.

MONSERIÉ, M. F.; WATTEAU, F.; VILLEMEN, G.; OUVREARD, S.; MOREL, J. L. Technosol genesis: identification of organo-mineral associations in a young Technosol derived from coking plant waste materials. **Journal Soils Sediments**, Heidelberg, v. 9, p. 537-546, 2009.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Part 4—physical methods. Madison: Wisconsin, Soil Science Society of America, 2002. p. 317-321.

- PAJAŁ, M.; GAŚIOREK, M.; CYGAN, A.; WANIC, T. Concentrations of Cd, Pb and Zn in the top layer of soil and needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.); a case study of two extremely different conditions of the forest environment in Poland. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, v. 23, n. 1, p. 71-76, 2015.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 713-720, 2002.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.
- PULLEMAN, M. M.; SIX, J.; UJIL, A.; MARINISSEN, J. C. Y.; JONGMANS, A. G. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 29, p. 1-15, 2005a.
- PULLEMAN, M. M., SIX, J., VAN BREEMEN, N., JONGMANS, A. G. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 56, p. 453-467, 2005b.
- 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.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; Aproveitamento da macrófita aquática *Egeria densa* como adubo orgânico. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2005.
- SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1339-1348, 2011.
- SAS - Statistical Analysis System (2016) User's guide: statistics. Cary: SAS Institute.
- SÉRÉ, G.; SCHWARTZ, C.; OUVREARD, S.; RENAT, J. C.; WATTEAU, F.; VILLEMIN, G.; MOREL, J. L. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 10, n. 7, p. 1246-1254, 2010.
- SHIPITALO, M. J.; PROTZ, R. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. **Geoderma**, Amsterdam, v. 45, p. 357-374, 1989.
- SIMPSON, R. T.; FREY, S. D.; SIX, J.; THIET, R. K. Preferential accumulation of microbial carbon in aggregate structures of no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 1249-1255, 2004.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIET, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, p. 555-569, 2006.

ŠOURKOVÁ, M.; FROUZ, J.; ŠANTRŮČKOVA, H. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 203-214, 2005.

STOCKMANN, U.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. How fast does soil grow? **Geoderma**, Amsterdam, v. 216, p. 48 - 61, 2014.

TIVET, F.; MORAES SA, J. C. de; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; dos SANTOS, J. B.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 203-218, 2013.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 609-618, 2005.

VERCHOT, L. V.; DUTAUR, L.; SHEPHERD, K.D.; ALBRECHT, A. Organic matter stabilization in soil aggregates: understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 161, n. 3, p. 182-93, 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. L. N. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 487-494, 2005.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 256-265, 2012.

WHITE, G. N. Scanning electron microscopy. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 5, mineralogical methods**. Madison: Wisconsin, Soil Science Society of America, 2008. p. 269-297.

ZHANG, L. M.; HU, H. W.; SHEN, J. P.; HE, J. Z. Ammonia-oxidizing archaea have more important role than ammonia-oxidizing bacteria in ammonia oxidation of strongly acidic soils. **The ISME Journal**, London, v. 6, p. 1032-1045, 2012.

ZHANG, Q.; DU, Z.; LOU, Y.; HE, X. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions. **Catena**, Amsterdam, v. 127, p. 26-31, 2012.

ZHOU, H.; PENG, X.; PETH, S.; XIAO, T. Q. Effects of vegetation restoration on soil aggregate microstructure quantified with synchrotron-based micro-computed tomography. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 17-23, 2012.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 196-206, 2007.

## CAPÍTULO 3

### MORFOLOGIA, pH, CABONO ORGÂNICO E SOBREVIVÊNCIA DE ESPÉCIES NATIVAS DE CERRADO EM SUBSUSOLO EXPOSTO

#### 1 INTRODUÇÃO

Áreas mineradas e o entorno de grandes empreendimentos como usinas hidrelétricas, normalmente apresentam paisagens sem os horizontes superficiais do solo e sem vegetação (LUNA et al., 2016), são sistemas que dependem de intervenção para iniciar seu restabelecimento, uma vez que nestas condições a resiliência inexistente e o solo já não realiza serviços ecossistêmicos.

Este material exposto a superfície, desestruturado, com elevada densidade, presença de pedregosidade, alta resistência a penetração e reduzida taxa de infiltração de água é suscetível à erosão, o que acaba resultando em insignificante regeneração natural ao longo do tempo (RODRIGUES et al., 2007) devido à dificuldade de colonização por plantas e animais, mesmo no Cerrado, ambiente onde as plantas estão normalmente adaptadas a situação de estresse hídrico, elevada radiação solar, acidez, pouco nutrientes (CORREIA et al., 2001; BARBOSA; NOBREGA; SANTIAGO, 2014).

A recuperação de áreas como estas depende de várias ações que precisam atuar em conjunto para restabelecer seu potencial (SANTOS et al., 2001). Dentre os métodos de recuperação mais utilizados estão o plantio de mudas, o estabelecimento e a manutenção da regeneração (DURIGAN et al., 2011; PINTO et al., 2011). No entanto, em subsolo a regeneração natural dificilmente ocorre, sendo necessária a intervenção com adição de insumos (ALVES et al., 2007).

O uso de resíduos agroindustriais e orgânicos pode representar uma opção viável para a incorporação de nutrientes, elevar o pH e assim auxiliar no crescimento de espécies arbóreas nativas de Cerrado em solo degradado, como observado por Mizobata et al. (2016) para o *Hymenea stigonocarpa* em experimento conduzido em vaso utilizando solo de área semelhante e resíduos. O restabelecimento da vegetação possibilitará o desenvolvimento de estrutura no subsolo exposto, com isto surgirão poros para conduzir a água melhorando a taxa de infiltração, reduzindo a erosão, permitindo o estabelecimento da vegetação e retomada dos serviços ecossistêmicos (SHAO et al., 2014).

O desenvolvimento radicular da vegetação, está associado à estabilidade, continuidade dos poros, porosidade total e distribuição dos poros por tamanho (LAL, 1993). A estabilidade estrutural está relacionada com a resistência à alteração natural ou induzida na arquitetura do solo (CORSINI; FERRAUDO 1999). O uso de plantas que contribuem para a melhoria da estrutura do solo, propicia a formação de bioporos com ampla variação de tamanho (LIMA et al., 2012), espera-se que com a arquitetura adequada a condução da água melhore seu fluxo.

As inter-relações entre o solo e o desenvolvimento da planta dependem da condição estrutural e do grau de degradação da estrutura a que o solo foi submetido (ARAÚJO; TORMENA; SILVA; 2004), podendo alguns de seus atributos serem utilizados como indicadores da qualidade do solo.

Considerando a importância da morfologia, pH, carbono orgânico e a pedregosidade, para o desenvolvimento da vegetação, objetivou-se avaliar a sobrevivência e altura das espécies introduzidas em área degradada de Cerrado (ADR) e ao mesmo tempo o desenvolvimento da estrutura do subsolo, comparativamente a um fragmento de Cerrado conservado (CER) e uma área degradada sem intervenção (AD).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

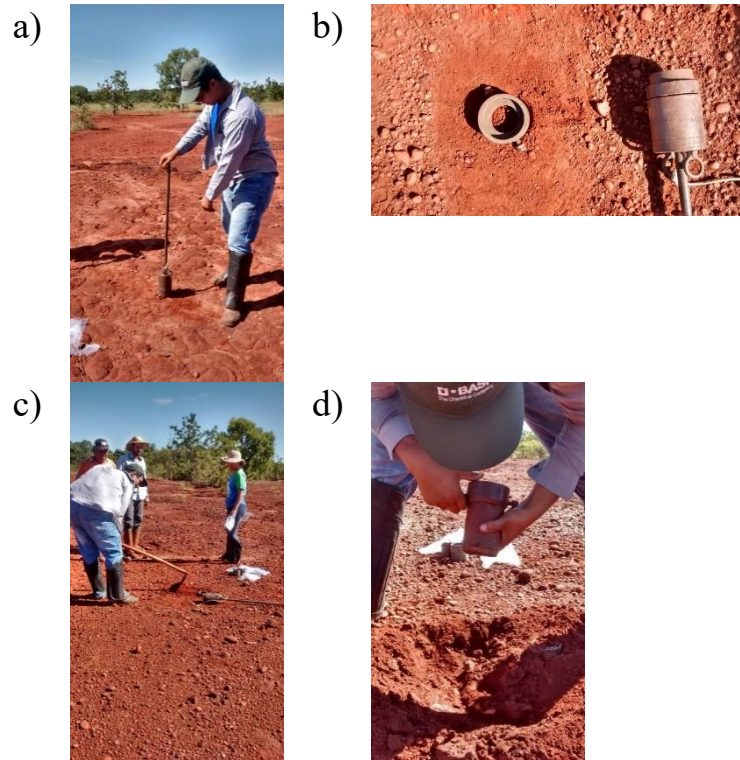
Transcorridos 4 anos da incorporação dos resíduos na área experimental, deu-se início à coleta das amostras, para a avaliação da área, estas sempre foram compostas de três simples e coletadas nas profundidades 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, nas 42 parcelas experimentais, para determinação de carbono orgânico (CO), segundo metodologia proposta por Ben-Dor e Banin (1989), que consiste na queima de 2g de solo, por 8h, em mufla na temperatura de 400 °C, após secagem prévia de 24 h a 105 °C.

Essas amostras também foram avaliadas para pH em água (EMBRAPA, 2011), com três repetições laboratoriais por parcela, onde mediu-se solo com um cachimbo de volume conhecido (10 cm<sup>3</sup> de solo), e adicionou-se 0,025 L de água deionizada, agitou-se com bastão de vidro para homogeneização da solução, após repousar aproximadamente 30 min, procedeu-se a leitura do pH em pHmetro munido de eletrodo.

A pedregosidade foi avaliada, com três repetições, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, em amostras secas ao ar, pesadas para obtenção de peso total (solo + pedras), peneiradas (malha = 2000 µm) e pesados o conteúdo de pedra e solo separadamente, para posterior cálculo da porcentagem de pedregosidade sob a quantidade de solo (SANTOS et al., 2005).

Amostras indeformadas foram coletadas, uma por tratamento, com auxílio de um coletor de anel do tipo (Euland sampler), na profundidade 0,0 - 0,08 m (Figura 1), cada anel com diâmetro interno e altura de 0,08 m, permitindo a obtenção de seções de aproximadamente, 0,075 x 0,075 m, quando seccionados. Estas amostras foram secas ao ar e impregnadas com resina, preparada pela mistura de 1,0 L de resina de poliéster, 0,30 L de monômero de estireno, 40 gotas de catalisador (Butanox M-50) e 12 g de pigmento sensível ao ultravioleta “Uvitex”® OB (Ciba Esp. Químicas Ltda).

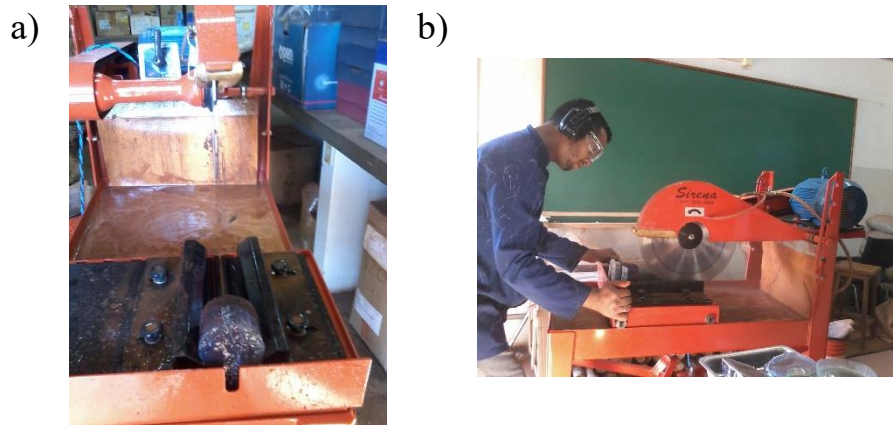
**Figura 1-** Coleta de amostra indeformada. a, b: detalhe do coletor de anel. c, d: retirada da amostra do solo e do coletor.



Fonte: Própria autora

A impregnação ocorreu lentamente, em dessecador, com auxílio de uma bomba de vácuo para que a resina ocupasse lentamente todos os espaços porosos existentes. Após impregnação permaneceu aproximadamente 30 dias em processo de secagem. As amostras, quando secas, foram cortadas ao meio com o auxílio de serra diamantada (Figura 2), produzindo blocos que foram analisados para porosidade e observados para morfologia. Para tanto, foram fotografados sob luz do tipo TUV BLE 06W, com câmera digital, e as imagens obtidas foram processadas, em todas as amostras descontou-se o que por ventura não era espaço poroso (seixos rolados) e foram analisadas utilizando o software Image J (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012), para observação da morfologia.

**Figura 2-** Corte da amostra impregnada com resina. a: bloco de solo impregnado com resina, na serra de corte. b: corte da amostra na serra.



Fonte: Própria autora

Após o preparo e a incorporação dos resíduos no solo (Nov/2011), a área permaneceu em pousio por 3 meses, em Fev/2012 ocorreu o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas de cerrado, que foram irrigadas semanalmente durante o período mais seco do primeiro ano: Angico do Cerrado (*Anadenanthera falcata*); Araçá do Campo (*Psidium guineense*); Barú (*Dipteryx alata*); Canudo de Pito (*Mabea fistulifera*); Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott); Ipê Amarelo do Cerrado (*Tabebuia caraíba*); Jatobá do Cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*); Mangaba (*Hancornia speciosa*); Monjoleiro (*Acacia polyphylla*); e Pimenta de Macaco (*Xylopia aromatica*) 10 ao todo, introduzidas aleatoriamente, em covas com 0,4 m de profundidade, espaçamento  $4,0 \times 5,0$  m, para permitir o estabelecimento de outras espécies.

A vegetação introduzida na área experimental foi avaliada para taxa de sobrevivência (TS), após quatro anos do plantio. A TS foi calculada a partir da relação entre os indivíduos plantados no início e os indivíduos mortos durante o período avaliado (SHUTCHA et al., 2015). O crescimento (H) das plantas introduzidas foi avaliado considerando  $H = \text{altura final} - \text{a inicial}$  da planta, variação de H no período de fevereiro de 2012 a abril de 2016.

Para auxílio na interpretação dos resultados foram utilizados dados climáticos anuais da região de 2012 até março de 2016, produzidos na estação agrometeorológica da UNESP campus de Ilha Solteira/SP, monitorados pela Área de Hidráulica e Irrigação (UNESP, 2016).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial  $3 \times 4 + 2$ , três doses de RO, quatro doses de RA, e dois tratamentos adicionais (cerrado e área degradada) perfazendo um total de 14 tratamentos com 3 repetições, e a profundidade em parcela subdividida.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento e esquema citado. Uma vez apresentada diferença significativa entre os tratamentos estes foram comparados de três formas: teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ) para as comparações da testemunha e o controle com os tratamentos, teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação entre RO e regressão para comparação entre RA. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.4 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A arquitetura estrutural do solo e a distribuição de sua porosidade (Figura 3), está associada ao desenvolvimento radicular das plantas (LAL, 1993), deve ser bem distribuída e apresentar leve concentração à superfície, aumentando as chances de desenvolvimento das plantas, uma vez que o impedimento físico será menor.

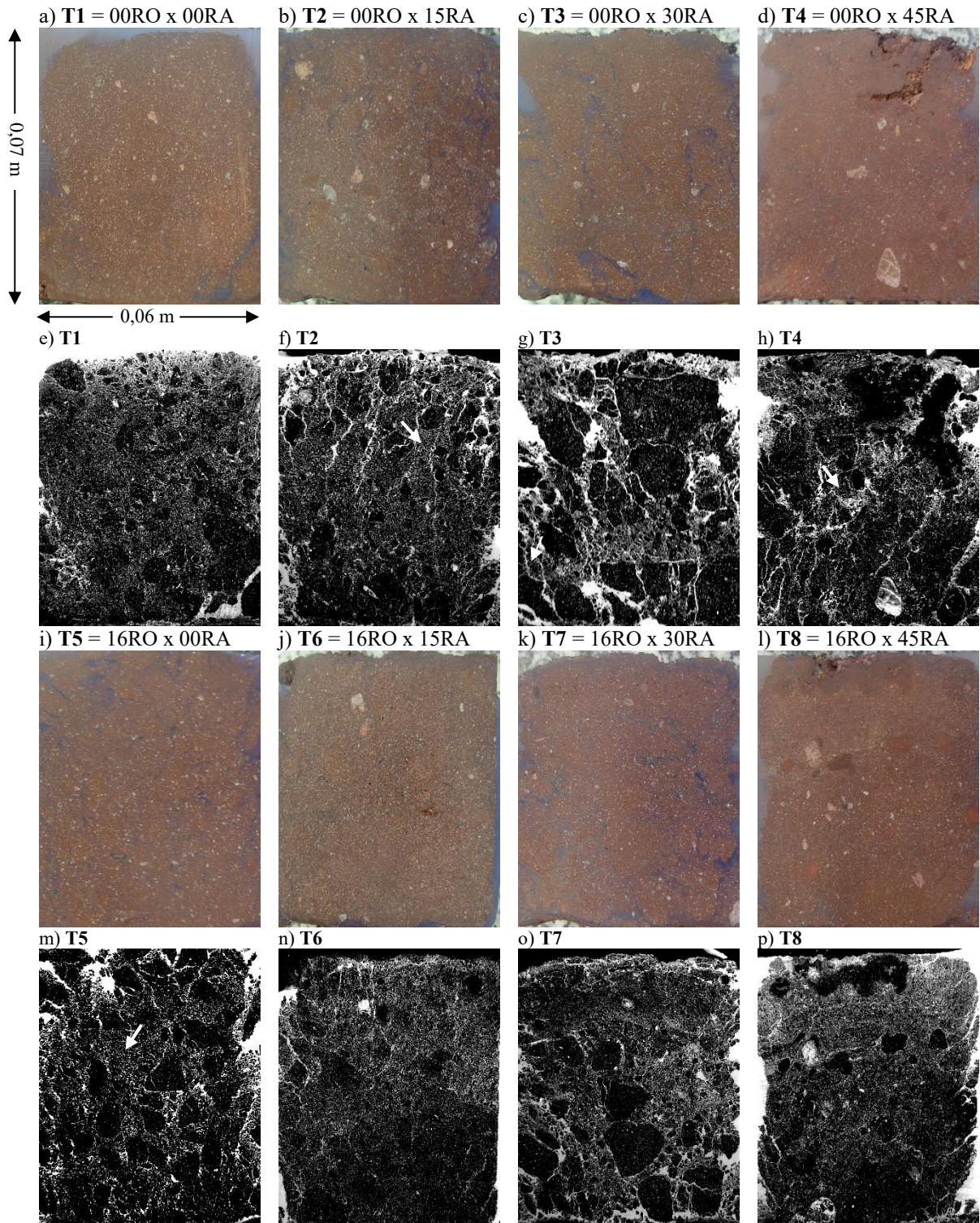
A avaliação das imagens dos blocos mostrou que ADR continua estatisticamente igual a AD e difere do CER em relação a porosidade calculada (Tabela 1), no entanto, estruturas começam a se formar, o que favorece o incremento na porosidade, que embora incipiente, tem na camada mais superficial mais poros (Figura 3), o que futuramente influenciará a densidade e acompanhada do CO poderá aumentar a quantidade de macroporos que são responsáveis pela redistribuição da água no solo (ZWIRTES et al., 2013).

No entanto, aumentar a quantidade não é suficiente, é necessário que estes estejam conectados e que conduzam a solução e a atmosfera do solo com fluxo contínuo pelo material, é preciso que os poros tenham uma arquitetura que favoreça essas reações, garantindo a qualidade ambiental para o adequado desenvolvimento da vegetação e microrganismos e assim volte a atuar satisfatoriamente atendendo aos serviços ecossistêmicos (KRAVCHENKO; GUBER, 2017).

A morfologia do solo difere entre os tratamentos (Figura 3), dentre estes T1, T6, T7, T8, T9, T11, T12 e AD apresentaram-se visualmente menos estruturados, não se observa a formação de agregados como ocorre em T2, T3, T4, T5, T10 e CER. O CER possui maior porcentagem de poros (Tabela 1), estes encontram-se bem distribuídos, com leve concentração superficial e aparentemente apresentando poros de maior diâmetro, condição que beneficia a infiltração de água, retenção de umidade e conseqüentemente a penetração e crescimento de raízes.

A AD apresenta menor quantidade de poros, visualmente subsolo compactado e se assemelha a ADR (Tabela 1), porém nos tratamentos da ADR há indícios do início da formação estrutural de agregados, quando observados na figura 3, há presença de formações arredondadas com certa porosidade em seu interior e envolto por canais, assim pode-se inferir que estejam se formando os agregados. No entanto, a ADR ainda tem porosidade incipiente e não mostrou resposta à adição de resíduos (Tabela 2).

**Figura 3-** Imagens dos blocos de ADR, AD e CER (a: T1, b: T2, c: T3, d: T4, i: T5, j: T6, k: T7, l: T8, q: T9, r: T10, s: T11, t: T12, y: TAD, aa: TCER). E imagens processadas (e: T1, f: T2, g: T3, h: T4, m: T5, n: T6, o: T7, p: T8, u: T9, v: T10, w: T11, x: T12, z: TAD, bb: TCER).



Continuação da figura 3

q) T9 = 32RO x 00RA

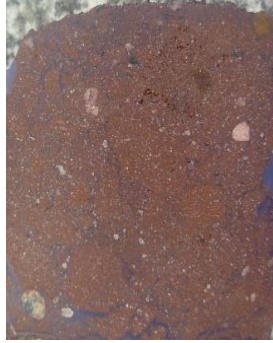


u) T9

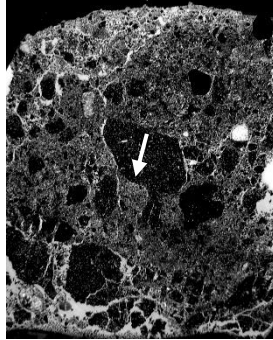


y) TAD = área degradada

r) T10 = 32RO x 15RA



v) T10

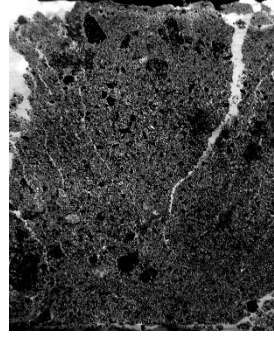


z) TAD

s) T11 = 32RO x 30RA



w) T11

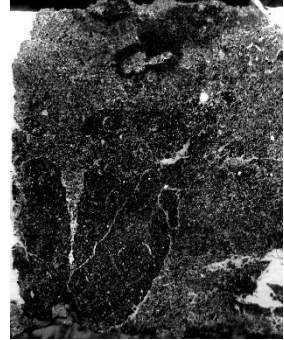


aa) TCER = Cerrado

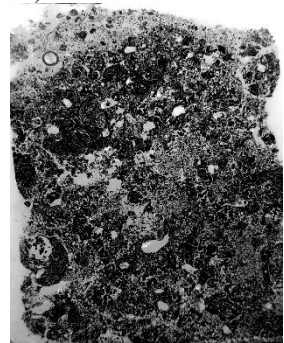
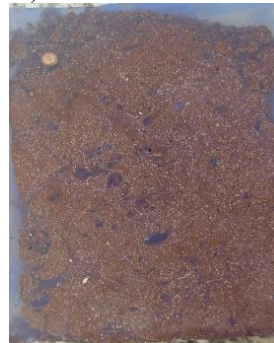
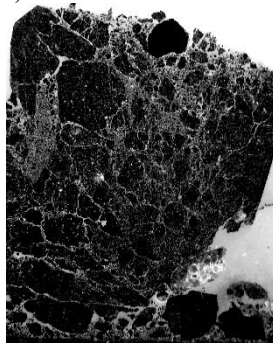
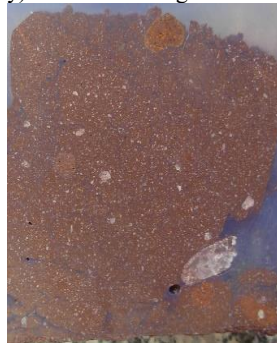
t) T12 = 32RO x 45RA



x) T12



bb) TCER



Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 1-** Porosidade do solo (PS) analisada por meio de imagens de blocos e a pedregosidade (PD), de ADR, AD e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		PS	PD
		%	
RO	RA		
AD		16 #	5,5
	00	00 15 #	32,9
	00	15 16 #	36,8 °
	00	30 17 #	23,1
	00	45 18 #	27,9
ADR	16	00 17 #	19,5
	16	15 18 #	17,9
	16	30 17 #	36,7 °
	16	45 19 #	34,9
	32	00 15 #	28,6
	32	15 16 #	30,9
	32	30 16 #	26,6
CER		30 °	22,9
p valor			
ADxADRxCER		0,0063	0,0190
CV (%)		15	57

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico ( $Mg\ ha^{-1}$ ); RA = Doses de resíduo agroindustrial ( $Mg\ ha^{-1}$ ). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 2-** Porosidade do solo (PS) e pedregosidade (PD), para os tratamentos na ADR, com doses de RO e RA, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão e valores de  $R^2$ .

Fonte de variação	PS	PD
	%	
RO	00	16a 30,17a
	16	17a 27,24a
	32	15a 31,50a
RA	00	15 26,98
	15	16 28,54
	30	16 28,79
	45	17 34,24
p valor		
RO	0,3811	0,5436
RA	0,6692	0,4104
RO x RA	0,9893	0,0483
CV (%)	17	56

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $Mg\ ha^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração da própria autora

Para pedregosidade (PD), os tratamentos (AD, ADR e CER) apresentaram comportamento semelhante, AD apresentou ligeira PD, enquanto que ADR e CER

apresentaram moderada PD (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004) e os tratamentos 00 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 15 Mg ha<sup>-1</sup> RA; 16 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 30 Mg ha<sup>-1</sup> RA; 32 Mg ha<sup>-1</sup> RO x 45 Mg ha<sup>-1</sup> RA, diferiram de AD, com PD mais elevada (Tabela 1), este resultado deveria ser corroborado com a presença de mais vegetação em AD e ADR, comportamento não observado em campo, uma vez que AD não abriga muitas plantas.

O tratamento 11, embora pouco estruturado, apresenta canais verticais que poderão ser bons condutores de água, melhorando a condição de infiltração nesta área se, se transformarem em poros contínuos (Figura 3).

Em solo degradado que apresenta pedregosidade há necessidade da criação de um solo estruturado com características físicas, químicas e biológicas adequadas, para propiciar um sistema benéfico à ocupação significativa de espécies vegetais, microrganismos e animais (LUNA et al., 2016).

A incorporação de RO e RA ao subsolo embora tenha sido significativa para pedregosidade, esta não é uma variável e sim uma característica da área, portanto não seria realmente influenciada pelos resíduos, porém é importante observar que é relativamente homogênea na ADR (Tabela 2).

O pH pode ser um indicador químico, que interfere no estabelecimento, crescimento e desenvolvimento das plantas (MIZOBATA et al., 2016). O CER apresentou o maior pH, acompanhado dos tratamentos em ADR com doses elevadas de resíduos (32RO x 45RA e 16RO x 45RA), e o menor pH ocorreu em AD, 00RO x 00RA, 00RO x 15RA e 32RO x 00RA (Tabela 3).

A incorporação de resíduos RO e RA ao subsolo elevou o pH (Tabelas 3 e 4), Asensio et al. (2013) e Kabas et al. (2014) sugeriram adições orgânicas em processos de reabilitação de solos com elevada degradação, devido às melhoras que estes propiciam.

A cada 15 Mg ha<sup>-1</sup> de RA o pH aumenta 0,15 unidades, tanto na ausência de RO quanto na presença de 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO, o comportamento do pH será o mesmo em relação a RA, passados 4 anos, o maior pH ocorre na maior dose de RO aplicado, independente da dose de RA (Tabelas 4 e 5).

Analisando o pH nas camadas (0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), observou-se redução em profundidade (Tabela 4). No CER isto pode ser explicado pela presença da serapilheira, onde a maior disponibilidade de matéria orgânica do solo exerce sua influência na manutenção deste indicador (IWATA et al., 2012), no enquanto em ADR a serapilheira ainda é incipiente, mas já traz contribuições se comparado à AD (Tabela 3), esta matéria

orgânica pode ser oriunda da incorporação das maiores doses de resíduos combinados e também das maiores doses de RA, uma vez que o CO na ADR é maior que na AD (Tabelas 3, 4 e 6).

**Tabela 3-** Valores de  $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$  e carbono orgânico (CO) por camada de solo (0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 m) em diferentes tratamentos AD, ADR e CER, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		pH		CO	
		CaCl <sub>2</sub>		mg g <sup>-1</sup>	
RO RA					
AD		4,74	#	22,79	#
	00 00	4,82	#	24,18	#
	00 15	4,79	#	25,21	#
	00 30	5,03	#°	26,40	#°
	00 45	5,29	#°	26,25	#°
	16 00	5,08	#°	21,84	#
ADR	16 15	5,11	#°	24,62	#
	16 30	5,04	#°	22,68	#
	16 45	5,31	°	22,71	#
	32 00	4,96	#	23,50	#
	32 15	5,22	#°	27,18	#°
	32 30	5,27	#°	28,78	#°
	32 45	5,53	°	26,68	#°
CER		5,52	°	35,73	°
p valor					
ADxADRxCER		0,0001		0,0001	
CV (%)		5		14	

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

O CO foi maior que AD em ADR incorporando 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> de RA e 15, 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> de RA combinadas com 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO (Tabela 3), este incremento em profundidade só foi significativo nas primeiras camadas do subsolo (0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 m) com a incorporação de 32RO x 30RA (Tabela 6), resultado corroborado quando analisadas as doses de resíduos separadamente em ADR (Tabela 4), a incorporação de matéria orgânica e a estruturação do solo são processos muito importantes para o desenvolvimento dos poros e da atividade biológica (ŠOURKOVÁ et al., 2005; MONSERIÉ et al., 2009; SÉRÉ et al., 2010; HUOT et al., 2014). Na profundidade de 0,10 a 0,20 m, o conteúdo de CO nos tratamentos na ADR com uso de 32 Mg ha<sup>-1</sup> de RO foi semelhante ao observado para o CER (Tabela 6), sugerindo que o alcance do CO em profundidade no CER não vá muito além disto.

**Tabela 4.** Valores médio de  $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$  e carbono orgânico (CO) por camada de solo (0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 m) na ADR, p valor, coeficiente de variação (CV), equações de regressão, valores de  $R^2$  e ponto de máximo (Pmax).

Fonte de variação	pH $\text{CaCl}_2$	CO $\text{mg g}^{-1}$
RO	00	25,51a
	16	22,96b
	32	26,54a
RA	00	23,17
	15	25,67
	30	25,95
	45	25,24
Profundidade (m)		
0,00 - 0,05	5,28a	25,68a
0,05 - 0,10	5,09b	24,79a
0,10 - 0,20	4,98c	24,56a
p valor		
Profundidade (PRO)	0,0000	0,1078
RO	0,0000	0,0000
RA	0,0000	0,0008
RO x RA	0,0177	0,1538
RO x RA x PRO	0,7508	0,5828
CV (%)	5	15
Equação de regressão para o RA		$R^2$ Pmax
$\hat{y}_{\text{pH}}^{**} = 4,92 + 0,009x$		0,9058
$\hat{y}_{\text{CO}}^{**} = 23,23 + 0,20x - 0,004x^2$		0,9847 25,00

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*= valores significativos para F ( $p < 0,01$ ).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 5-** Desdobramento da interação de RO e RA para pH do solo, médias, significância, equações de regressão, valores de  $R^2$  e p valor.

RO \ RA	pH ( $\text{CaCl}_2$ )				Equação de regressão		
	0*	15**	30**	45*		$R^2$	p valor
0**	4,82b	4,79b	5,03b	5,29a	$\hat{y} = 4,74 + 0,01x$	0,8493	0,000
16*	5,08a	5,11a	5,04b	5,31a	$\hat{y} = 5,04 + 0,004x$	0,4193	0,0141
32**	4,96ab	5,22a	5,27a	5,48a	$\hat{y} = 4,99 + 0,01x$	0,9454	0,000

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns= valores não significativos; \*\* e \* = valores significativos para F ( $p < 0,01$  e  $< 0,05$ , respectivamente).

Fonte: Elaboração da própria autora

Após quatro anos de introdução em campo, as mudas apresentaram boa sobrevivência em todos os tratamentos, inclusive onde não ocorreu adição de resíduos (Tabela 7), as taxas apresentadas são consideradas satisfatórias de acordo com Duboc; Guerrini (2007), que indicam 61% como boa taxa de sobrevivência para espécies arbóreas de cerrado.

**Tabela 6-** Desdobramento do pH e CO dentro de cada profundidade (P1: 0,00 – 0,05; P2: 0,05 – 0,10 e P3: 0,10 – 0,20 m), p valor e coeficiente de variação (CV).

Fontes de variação		pH (CaCl <sub>2</sub> )						CO (mg g <sup>-1</sup> )		
		P1		P2		P3		P1	P2	P3
	RO RA									
AD		4,79 #	4,72 #	4,69 #	23,1 #	22,5 #	22,8 #			
	00 00	4,93 #	4,79 #	4,76 #	24,4 #	24,2 #	23,9			
	00 15	4,85 #	4,79 #	4,75 #	25,1 #	24,9 #	25,6			
	00 30	5,29 °	4,95 #	4,83 #	27,4 #	25,7 #	26,1			
	00 45	5,46 °	5,29 °	5,12 #°	25,3 #	26,9 #	26,5			
ADR	16 00	5,22	5,11 #	4,92 #	21,2 #	20,7 #	23,6 #			
	16 15	5,19	5,07 #	5,06 #°	24,5 #	24,1 #	25,3			
	16 30	5,17	5,03 #	4,92 #	27,6 #	21,8 #	18,7 #			
	16 45	5,61 °	5,22 °	5,09 #°	23,4 #	22,5 #	22,2 #			
	32 00	5,07 #	4,89 #	4,91 #	23,2 #	23,5 #	23,8			
	32 15	5,22	5,21 °	5,23 °	27,6 #	27,5 #	26,5			
	32 30	5,56 °	5,29 °	4,96 #	29,8 #°	28,8 °	27,7			
	32 45	5,80 °	5,57 °	5,13 #°	28,8 #	26,8 #	24,8			
	CER	5,57 °	5,56 °	5,44 °	42,9 °	34,4 °	29,8 °			
p valor										
ADxADRxCER		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0008			
CV (%)		5	5	4	14	14	15			

Nota: AD = área degradada sem intervenção (controle); ADR = área degradada em recuperação; CER = Cerrado (testemunha); RO = Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); RA = Doses de resíduo agroindustrial (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de # e ° na coluna, diferem da testemunha e controle, respectivamente pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 7-** Sobrevivência das espécies estudadas, em porcentagem, p valor e coeficiente de variação (CV).

Fonte de variação	Angico	Araçá	Barú	Canudo	Gonçalo	Ipê	Jatobá	Mangaba	Monjo-leiro	Pimenta	
	%										
RO	00	87a	92a	80a	70a	100a	87b	97a	89a	62b	79a
	16	90a	94a	95a	90a	100a	100a	97a	89a	79ab	87a
	32	89a	100a	95a	83a	92a	100a	97a	95a	95a	95a
RA	00	89	93	89	72	96	93	96	96	91	79
	15	86	100	93	78	96	96	96	85	76	89
	30	85	93	89	74	100	94	96	89	73	93
	45	94	96	88	100	96	100	100	93	75	87
p valor											
RO		0,9367	0,3974	0,0671	0,1346	0,0705	0,0032	1,0000	0,7072	0,0007	0,1322
RA		0,8039	0,6834	0,9372	0,0927	0,8013	0,3787	0,7492	0,6301	0,1708	0,4179
RO x RA		0,5259	0,5950	0,4351	0,9358	0,9120	0,4052	0,1862	0,7373	0,4634	0,8644
CV (%)											
		22	16	19	31	10	10	9	21	23	21

Nota: RO=Doses de resíduo orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração da própria autora

A sobrevivência das espécies depende das condições do solo, como as avaliadas aqui (pH, CO, porosidade, pedregosidade), além das condições climáticas. Neste estudo a incorporação de resíduos ao subsolo elevou o pH, o CO, deu início a colonização da área e a

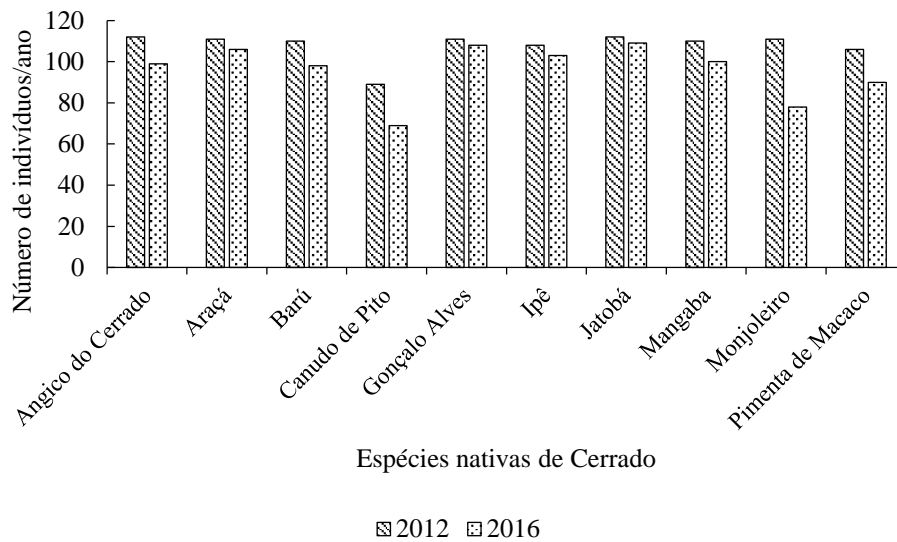
estruturção do solo, ao desenvolvimento da porosidade, melhorou a infiltração e retenção de água (Tabela 1 e Figura 3) este conjunto contribuiu para uma TS satisfatória para todas as espécies (Tabelas 3, 4 e 7) e o crescimento das raízes. Lima et al. (2012) consideraram que o uso de plantas contribuiu para a melhorar a estrutura do solo e propiciou a formação de bioporos com variação de tamanho.

Uma espécie arbórea de cerrado de baixa sobrevivência, segundo Durigan; Silveira (1999) é aquela que, apresenta valores menores que 60%. Duboc; Guerrini, (2007) consideraram baixa sobrevivência  $\leq 60\%$ , média de 61 a 80, e alta  $\geq 81\%$ . No presente estudo obteve-se efetivo sucesso quanto à escolha das espécies para revegetação da área degradada, pois todas apresentaram  $TS \geq 61\%$  (Tabela 7).

Considerando a classificação de Duboc; Guerrini (2007), as espécies Angico, Araçá, Barú, Gonçalo, Ipê, Jatobá, Mangaba e Pimenta, apresentaram alta taxa de sobrevivência na maioria dos tratamentos. O Canudo de Pito e Monjoleiro apresentaram TS média nos tratamentos com a incorporação de resíduos, e a Pimenta de Macaco apresentou TS média apenas na ausência de resíduos. Para essas espécies, o RO mostrou-se importante, uma vez que na sua ausência houve redução da taxa de sobrevivência (TS). A incorporação de RO e a dose de  $45 \text{ Mg ha}^{-1}$  de RA foi suficiente para suprir as necessidades do Ipê que apresentou 100% de sobrevivência, alta TS (Tabela 7).

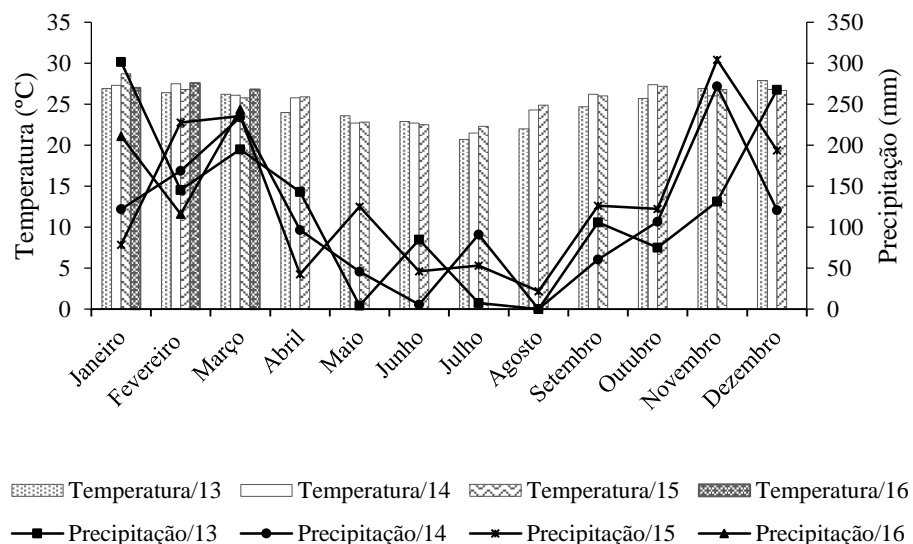
Embora, todas as espécies tenham apresentado boa sobrevivência, nota-se que a quantidade de indivíduos diminuiu após quatro anos, de plantio em área degradada, e as espécies que mais reduziram seus indivíduos foram o Monjoleiro e Canudo de Pito (Tabela 6, Figura 4), estas foram as espécies preferidas para compor a alimentação dos animais silvestres em 2014, o que acabou por contribuir para redução no número de indivíduos destas (Figura 4), neste mesmo ano houve prejuízo por falta de chuva (Tabela 7; Figura 5), o que também pode ter contribuído para esta redução.

**Figura 4-** Total de indivíduos das espécies introduzidas na área experimental em 2012 e o total de indivíduos sobreviventes em 2016.



Fonte: Elaboração da própria autora

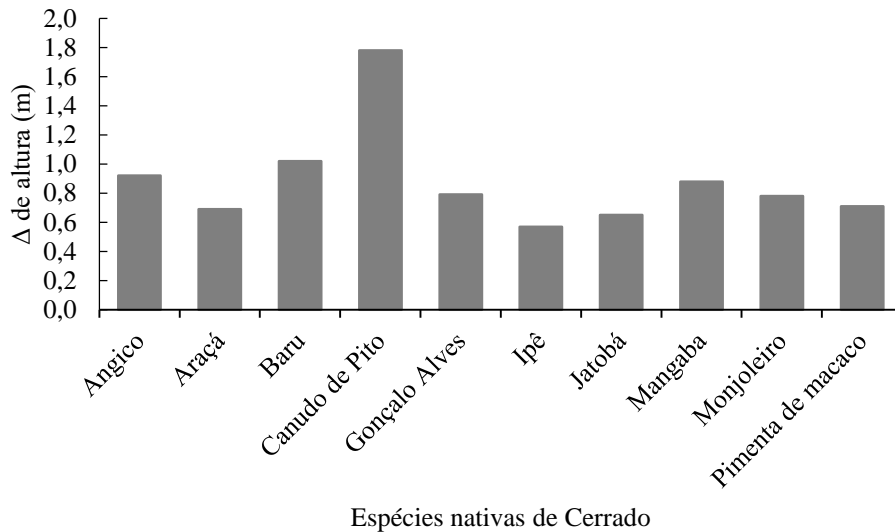
**Figura 5-** Média mensal de temperatura e precipitação durante os anos de 2013, 2014, 2015 e março/2016.



Fonte: Elaboração da própria autora, dados da UNESP, 2016

A variação em altura mostra que em 4 anos (Figura 6), o Canudo de Pito, uma das espécies de menor TS foi a que cresceu mais rapidamente, atingindo uma média de 1,8 m e o menor crescimento observado em campo é do Ipê, juntamente com o Jatobá e Araçá, este último que já produziu flores e frutos (Figura 7).

**Figura 6-** Variação de altura (altura final – altura inicial) do Angico, Araçá, Baru, Canudo de Pito, Gonçalves Alves, Ipê, Jatobá, Mangaba, Monjoleiro e Pimenta de macaco de 2012, ano de sua introdução em campo, até abril de 2016.



Fonte: Elaboração da própria autora

**Figura 7-** Flores e frutos do Araçá na ADR.



Fonte: Própria autora

Em geral, todas as espécies cresceram durante os quatro anos em campo, no entanto, o Canudo de Pito foi a espécie que se destacou (Figura 6), sugerindo que os resíduos possam ter contribuído nutricionalmente para o crescimento desta, e que sua média TS esteja relacionada às condições físicas do subsolo, que ainda não podem ser consideradas adequadas.

A estrutura física do solo pode influenciar o crescimento das plantas e interferir na produção (GAVANDE, 1976), esta estrutura depende da textura do solo, do aporte de matéria orgânica, do tipo de argila presente, da estabilidade de agregados, entre outros fatores (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SILVA et al., 2014).

No entanto, quando a vegetação consegue colonizar e se estabelecer em solo pouco estruturado, com condições desfavoráveis, proporciona redução da erosão e da evaporação, contribui para aumentar a infiltração de água, e conseqüentemente facilita o crescimento das raízes e das plantas (COOK et al., 2011; SHAO et al., 2014), pode contribuir a partir de exudatos com incrementos na atividade microbiana na estruturação do solo, além de introduzir matéria orgânica.

Duboc e Guerrini (2007) avaliando a taxa de sobrevivência de espécies de cerrado observaram que esta não dependia de doses de nitrogênio e relata que as diferenças encontradas estavam vinculadas às características inerentes de cada espécie, e que cada uma tem necessidade específica de nutrientes e condições físicas (luminosidade, umidade e temperatura). Nunes et al., (2015) afirmaram que a mortalidade depende da fisiologia da espécie e também das interações bióticas, enquanto que Araujo, Tormenta e Silva (2004) concluíram que as interações entre solo e o desenvolvimento da planta dependem da condição estrutural e do grau de degradação do solo, o que se busca melhorar nesta área, com ajuda das plantas introduzidas e regenerantes.

#### 4 CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos orgânico e agroindustrial (RO e RA) traz benefícios ao desenvolvimento da estrutura, pH e CO do subsolo em área degradada em recuperação.

RO e RA não prejudicaram a sobrevivência das espécies nativas de Cerrado introduzidas em área degradada.

As 10 espécies selecionadas apresentaram alta sobrevivência quatro anos após sua introdução em campo e podem ser sugeridas para utilização em programas de revegetação de áreas degradadas no cerrado.

O Canudo de Pito apresentou rápido crescimento em subsolo condicionado com RO e RA em relação às demais espécies.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, A. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.
- ARAUJO M. A.; TORMENA C. A.; SILVA A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ASENSIO, V.; COVELO, E. F.; KANDELER, E. Soilmanagement of coppermine tailing soils - sludge amendment and tree vegetation could improve biological soil quality. **Science of the Total Environment Journal**, Amsterdam, v. 456 - 457, p. 82-90, 2013.
- BARBOSA, V. M.; NOBREGA, M. A. S.; SANTIAGO, E. F. Respostas Germinativas de *Psidium Guineense Swartz* (Myrtaceae) e Plantas Jovens a Múltiplos Fatores de Estresse. *Ensaio Cienc. Ciências Biológicas, Agrária e da Saúde*, Valinhos, v. 18, n. 4, p. 173-178, 2014.
- BEN-DOR E; BANIN A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1675-1695, 1989.
- COOK, K. L.; WALLENDER, W. W.; BLEDSOE, C. S.; PASTERNAK, G.; UPADHYAYA, S. K. Effects of native plant species, mycorrhizal inoculum, and mulch on restoration of reservoir sediment following dam removal, Elwha River, Olympic Peninsula, Washington. **Restoration Ecology**, Hoboken, v. 19, p. 251-260, 2011.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.
- CORREIA, J. R.; HARIDASAN, M.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; WALTER, B. M. T. Influência de fatores edáficos na distribuição de espécies arbóreas em Matas de Galeria da região do Cerrado: uma revisão. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C. E. L. da; SOUZA-SILVA, J.C. (Ed.). **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 51-79.
- DUBOC, E.; GERRINI, I. A. Crescimento inicial e sobrevivência de espécies florestais de matas de galeria no domínio do cerrado em resposta à fertilização. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2007.
- DURIGAN, G. Técnicas silviculturais à restauração. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ECOSSISTEMAS NATURAIS, 1., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1999. 1CD-Rom.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de Cerrado**. 3. ed. São Paulo: SMA, 2011. 19 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.

GAVANDE, S. A. **Física del suelos**: principios y aplicaciones. Ciudad del México: Editorial Limusa, 1976. 351 p.

HUOT, H.; SIMONNOT, M. O.; WATTEAU, F.; MARION, P.; YVON, J.; DE DONATO, P.; MOREL, J. L. Early transformation and transfer processes in a technosol developing on iron industry deposits. **European Journal Soil Science**, Chichester, v. 65, p. 470-484, 2014.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

KABAS, S.; FAZ, A.; ACOSTA, J. A.; AROCENA, J. M.; ZORNOZA, R.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S.; CARMONA, D. M. Marble wastes and pig slurry improve the environmental and plantrelevant properties of mine tailings. **Environmental Geochemistry Health**, Dordrecht, v. 36, p. 41-54, 2014.

KRAVCHENKO, A. N.; GUBER, A. K. Soil pores and their contributions to soil carbon processes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 287, p. 31-39, 2017.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, an sustainability. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 27, p. 1-8, 1993.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 71-78, 2012.

LUNA, L.; MIRALLES, I.; ANDRENELLI, M. C.; GISPERT, M.; PELLEGRINI, S.; VIGNOZZI, N.; SOLÉ-BENET, A. Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region. **Catena**, Amsterdam, v. 143, p. 256-264, 2016.

MIZOBATA, K. K. G. S.; SANTOS, C. M.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Growth of *Hymenaea stigonocarpa* as a function of the addition of residues in degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 223-229, 2016.

MONSERIÉ, M. F.; WATTEAU, F.; VILLEMIN, G.; OUVRARD, S.; MOREL, J. L. Technosol genesis: identification of organo-mineral associations in a young Technosol derived from coking plant waste materials. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 9, p. 537-546, 2009.

NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, N. C. A.; VELOSO, M. D. M., GONZAGA, A. P. D.; DOMINGUES, E. B. S.; ALMEIDA, H. S.; CASTRO, G. C.; SANTOS, R. M. Em uma área degradada de floresta estacional decidual, norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 801-810, 2015.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras:** proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p - (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

PINTO, J. R. R.; BORDINI, M. C.P.; PORTO, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C. Princípios e técnicas usadas na recuperação de áreas degradadas. In: FAGG, C. W.; MUNHOZ, C. B. R.; SOUSA-SILVA, J. C. **Conservação de áreas de preservação permanente do Cerrado.** Brasília: CRAD, 2011. 149-184 p.

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 Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 73-80, 2007.

SANTOS, A. C.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, A. P.; CAVALCANTE, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1063-1071, 2001.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SAS - Statistical Analysis System (2016) User's guide: statistics. Cary: SAS Institute.

SÉRÉ, G.; SCHWARTZ, C.; OUVRARD, S.; RENAT, J. C.; WATTEAU, F.; VILLEMIN, G.; MOREL, J. L. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 10, n. 7, p. 1246-1254, 2010.

SHAO, Q.; GU, W.; DAI, Q. Y.; MAKOTO, S.; LIU, Y. Effectiveness of geotextile mulches for slope restoration in semi-arid Northern China. **Catena**, Amsterdam, v. 116, p. 1-9, 2014.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". **Nature Methods**, London, v. 9, p. 671-675, 2012.

SHUTCHA, M. N.; FAUCON, M. P.; KISSI, C. K.; COLINET, G.; MAHY, G.; LUHEMBWE, M. N.; VISSER, M.; MEERTS, P. Three years of phytostabilisation experiment of bare acidic soil extremely contaminated by copper smelting using plant biodiversity of metal-rich soils in tropical Africa (Katanga, DR Congo). **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 82, p. 81-90, 2015.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

ŠOURKOVÁ, M.; FROUZ, J.; ŠANTRŮČKOVÁ, H. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 203-214, 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Canal clima da Unesp Ilha Solteira:** área de hidráulica e irrigação. Ilha Solteira: UNESP, [200?]. Disponível em: < <http://clima.feis.unesp.br/> >. Acesso em: 04 abr. 2016.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGO, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de Cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 3489-3500, 2013.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande desafio para recuperação de áreas impactadas pela remoção do solo está na construção de um novo solo, a partir de um subsolo pouco estruturado, pedregoso, de elevada densidade e baixas taxas de infiltração de água.

Na busca por soluções e olhando a natureza, notou-se que uma das alternativas estaria em dar vida ao subsolo, para que os complexos e dinâmicos processos que ocorrem nos solos pudessem lá se estabelecer. Neste contexto, optou-se, alternativamente pelo uso de resíduos disponíveis na região (macrófitas aquáticas e cinza produzida a partir do bagaço da cana-de-açúcar) e ricos em carbono, ao mesmo tempo buscou-se, ainda observando o entorno, selecionar espécies arbóreas do Cerrado para introdução nesta área e antes de qualquer ação, este subsolo foi escarificado, e gradeado, para rompimento da camada mais compactada que se tinha à superfície.

Passados 4 anos, pensando na construção de um novo solo, muito pouco tempo, mas observando as alterações ocorridas, particularmente nos atributos físicos, nota-se que a área encontra-se em processo de revegetação espontânea e dando os primeiros passos para se recuperar.

Considerando apenas os aspectos gerais a incorporação dos resíduos, orgânico e agroindustrial, selecionados em conjunto com a mecanização da área, as mudanças promovidas foram positivas também para carbono orgânico e pH, além de não interferir negativamente na sobrevivência das espécies introduzidas.

O conjunto das ações realizadas melhorou as condições edáficas do subsolo exposto aumentando a taxa de infiltração de água no solo, a agregação, a estabilidade dos agregados, o diâmetro médio ponderado, foram benéficas à arquitetura dos poros, e reduziram a densidade, resistência do solo a penetração, em relação a áreas degradadas que não sofreram intervenções.

O uso de dois extremos para avaliar a recuperação de área degradada (ADR), testemunha (fragmento de cerrado conservado) e controle (área degradada sem intervenção), foi importante para percepção da recuperação alcançada e de quanto mais pode ser feito.

Neste caso, a porcentagem dos macroagregados pode ser utilizada como indicadora da recuperação das condições edáficas do ambiente degradado, comparativamente ao ambiente preservado, portanto, ser considerado um indicador da qualidade do solo. A microscopia eletrônica, foi também uma ferramenta importante na observação do papel das hifas de fungos na agregação do solo.

E quanto as plantas, as 10 espécies selecionadas apresentaram alta sobrevivência, quatro anos após sua introdução em campo, e podem ser sugeridas para utilização em programas de revegetação de áreas degradadas no cerrado. Sabendo que Ipê e Monjoleiro são mais dependentes de adições orgânicas e que o Canudo de Pito apresenta crescimento rápido.

Transcorridos 4 anos, o subsolo exposto dá sinais de recuperação por meio de processos pedogenéticos que conduzem a formação de agregados, permitem a entrada de água e dá espaço ao restabelecimento da vegetação.

## ANEXO A – ANÁLISE QUÍMICA DOS RESÍDUOS PARA ELEMENTOS DISPONÍVEIS E TOTAIS

**Tabela 1-** Valores de nutrientes disponíveis, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al<sup>3+</sup>), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V), dos resíduos RO e RA (resíduo orgânico e agroindustrial, respectivamente).

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>RO</b>	17,6	1,7	6,5	11,6	2,4	6,7	27	57	2000	194	34
	<b>Presina</b>	<b>MO</b>	<b>pH</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>H+Al<sup>3+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	----- mmolc dm <sup>-3</sup> -----						%	
<b>RA</b>	167	28	8,9	36,6	242	23	8	0	301,6	309,6	97

Nota: Valores obtidos em análise de material vegetal seguindo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e de fertilidade segundo RAIJ et al. (2001).

Fonte: Elaboração da própria autora

**Tabela 2-** Valores dos elementos totais de interesse contidos no RA.

<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>C</b>	<b>Al</b>
g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----				mg kg <sup>-1</sup>
0,86	1617	5,3	1,1	12,4	570	1710

Nota: Análise realizada no Instituto agrônomo de Campinas, Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais, laboratório de Fertilizantes e Resíduos.

Fonte: Elaboração da própria autora

## REFERÊNCIAS

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

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