



UNICAMP

Numero: 41/2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

JOSEANE CARINA BORGES DE CARVALHO

**CONDIÇÃO DOS AGREGADOS E DA CONSTITUIÇÃO MICROBIOLÓGICA DE
SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES USOS E MANEJOS AGRÍCOLAS
EM SELVÍRIA (MS).**

Dissertação apresentada ao Instituto de
Geociências como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Geografia.

ORIENTADOR: DR. CARLOS ROBERTO ESPINDOLA

CO-ORIENTADOR(A): DR. (A) MARLENE CRISTINA ALVES

CAMPINAS – SÃO PAULO

JULHO DE 2006

IDADE BC
CHAMADA 17/UNICAMP
C253c

EX
MBO BC/ 70600
OC. 16.200123.06

EÇO 11,00

TA 17/11/06

I-ID

Bit ID 391177

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

C253c Carvalho, Joseane Carina Borges
Condição dos agregados e da constituição microbiológica de solos submetidos a diferentes usos e manejos agrícolas em Selvíria (MS) / Joseane Carina Borges Carvalho.-- Campinas, SP.: [s.n.], 2006.

Orientadores: Carlos Roberto Espindola, Marlene Cristina Alves.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Solos – Manejo – Selvíria (MS). 2. Microorganismos do solo. 3. Solos - Qualidade. 4. Solos - Composição. I. Espindola, Carlos Roberto. II. Alves, Marlene Cristina. III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. VI. Título.

Título em inglês: Aggregates conditions and soil microbial biomass constitution used in differents cropping systems in Selvíria (MS).

Keywords: - Soil cropping systems;

- Aggregates stability;

- Microbial biomass;

- Soil quality.

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

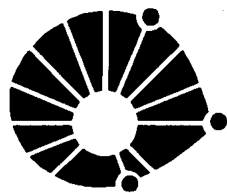
Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora: - Carlos Roberto Espindola;

- Sonia Carmela Falci Dechen;

- Francisco Sérgio Bernardes Ladeira.

Data da defesa: 31/07/2006



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

AUTORA: JOSEANE CARINA BORGES CARVALHO

**CONDIÇÃO DOS AGREGADOS E DA CONSTITUIÇÃO MICROBIOLÓGICA DE SOLOS
SUBMETIDOS A DIFERENTES USOS E MANEJOS AGRÍCOLAS EM SELVÍRIA (MS).**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola

CO-ORIENTADOR(A): Dr. (a) Marlene Cristina Alves

Aprovada em: ____/____/____

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola

Profa. Dra. Sonia Carmela Falci Dechen

Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

_____ **Presidente**

Campinas, 31 de julho de 2006

A toda minha família,
em especial aos meus pais, **José e Ivone**,
e irmãos, **Rosimeire e Julio César**,
por fazerem parte de minha vida e por terem me ensinado
a cultivar a simplicidade
dos pequenos atos.

OFEREÇO

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola, por sua orientação, que contribuiu de modo valioso para minha formação acadêmica;

À Profa. Dra. Marlene Cristina Alves, por sua co-orientação e ajuda inestimável;

À Profa. Dra. Sonia Carmela Falci Dechen e Profa. Dra. Sueli dos Santos Freitas, pela especial colaboração dedicada;

Ao Diretor e funcionários do Instituto Agrônômico (IAC), pela colaboração na condução dos experimentos e análises;

Ao Departamento de Fertilidade do Solo, Engenharia Rural e Solos, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), pelas análises;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa de estudo concedida;

À Valdirene, à Edinalva e Leandro, amigos muito especiais, funcionários da Secretaria de Pós-Graduação do IG, pelo carinho e especial atendimento;

Aos meus queridos tios Édio e Maria, por me acolherem de modo carinhoso;

Ao amigo Rodrigo, pela sempre sincera amizade;

Aos novos amigos da “salinha 6”: Paulo, Camila e Jonas, pelos bons momentos de descontração e alegria;

Às queridas Vera, Ana, Karina e Angélica, meninas da moradia estudantil, pela convivência afetuosa;

Aos amigos Alexandre (Gaúcho), Hernandes e Sr. Naur, pela ajuda nos trabalhos de campo;

Aos amigos e colegas do IG, pelos excelentes momentos de descontração: Jimena, Ivie, Tharsila, Claudia, Fernanda, Fabrício, Ana, Mônica Iha, Diego, Vagney, César, Sérgio, Sandra, Janaina, Aloísio, Alexandre, Cleyton, Rolando, Bienvenido;

Aos amigos que fiz no singelo coral de Taizé: Juliana, Lucas, Thais, Paty, Karina, Guilherme, Felipe, Nali, Priscila, Paula, pela alegria vivida na simplicidade dos cantos;

Aos meus queridos amigos de Ilha Solteira, pela alegria e força: Márcia e Carlos, Almir, Miriam, Kátia e Kelli.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Ações antrópicas e os seus impactos no quadro natural	3
2.2 Degradação dos solos	6
2.3 Degradação da estrutura e a estabilidade dos agregados do solo	9
2.4 Atividade microbiológica e a estabilidade dos agregados do solo	17
2.5 Manejo dos solos e a estabilidade dos agregados	21
2.6 O uso do lodo de esgoto na recuperação da estrutura de solos degradados	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 Localização e características da área de estudo	30
3.2 Condições de uso e manejo dos solos estudados	32
3.2.1 Amostragem dos experimentos	36
3.3 Determinações físicas, químicas e microbiológicas dos solos	37
3.3.1 Granulometria	38
3.3.2 Densidade e Porosidade do Solo	40
3.3.3 Estabilidade dos agregados por agitação em água e sob chuva simulada	40
3.4 Análise química	44
3.5 Análise microbiológica	45
3.6 Análises estatísticas	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Análises físicas	47
4.1.1 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo	47
4.1.2 Estabilidade dos agregados sob agitação com água	50
4.1.3 Estabilidade dos agregados do solo por chuva simulada	59
4.2 Microbiologia do solo	62
5. CONCLUSÕES	69
6. ANEXOS	70

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento.	70
Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento.	75
Anexo 3. Dados brutos de fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H)+ alumínio, (Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e seus coeficientes de variação, por tratamento.	80
Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento.	82
Anexo 5. Dados brutos da comunidade bacteriana, respiração basal, carbono da biomassa e quociente metabólico, seguido de seus coeficientes de variação, por tratamento.	87
7. BIBLIOGRAFIA CITADA	88

LISTA DE SÍMBOLOS

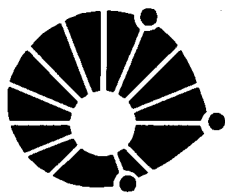
g.kg^{-1}	Gramas por quilo
C.V.	Coeficiente de variação
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Cloreto de Cálcio hidratado
cm	Centímetros
CO_2	Dióxido de carbono
$\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)$	Sulfato ferroso amoniacal
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H_2O	Água
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido Clorídrico
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Dicromato de Potássio
m^2	Metro quadrado
$\text{m}^3.\text{m}^3$	Metro cúbico por metro cúbico
$\mu\text{g}.\text{CO}_2$	Micrograma de dióxido de carbono por grama de solo
$\text{mg}.\text{dm}^{-3}$	Miligramas por decímetro cúbico
$\text{Mg}.\text{m}^{-3}$	Megagrama por metro cúbico
ml	Mililitros
mm	Milímetro
$\text{Mmol}/\text{dm}^{-3}$	Milimol de carga por decímetro cúbico
NaOH	Hidróxido de Sódio
pH	Índice de acidez
$q\text{CO}_2$	Quociente metabólico
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ufcs	Unidades formadoras de colônias
UTM	Universal Transverse Mercator
$\mu\text{gC}.\text{g}^{-1}$	Micrograma de carbono por grama de solo

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Visão geral da área de empréstimo	6
Figura 3.2 Localização da área de estudo e seu entorno	30
Figura 3.3 Localização da Fazenda de Ensino e Pesquisa (UNESP)	31
Figura 3.4 Aspecto geral da área degradada	33
Figura 3.5 Área degradada em processo de recuperação	33
Figura 3.6 Aspecto geral da área regenerada naturalmente	34
Figura 3.7 Solo com pastagem de gramíneas	34
Figura 3.8 Aspecto geral do Cerrado	35
Figura 3.9 Disposição dos experimentos na FEP/FEIS/UNESP, em Selvíria/MS	36
Figura 3.10 Amostragem para estabilidade dos agregados e anéis volumétricos	37
Figura 3.11 Simulador de chuva modelo <i>Goettingen</i>	42
Figura 3.12 Agregados sob chuva	43
Figura 3.13 Agregados pós-chuva	43
Figura 3.14 Distribuição dos agregados estáveis em água, por tratamento	52
Figura 3.14.1. Distribuição dos agregados estáveis em água, por tratamento (continuação)	53
Figura 3.15 Relação entre o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados com alguns parâmetros químicos	58
Figura 3.16 Comparação das classes de agregados, em função dos tratamentos na profundidade de 0-0,20 m	61
Figura 3.17 Contagem de bactérias, respiração, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico, em função dos tratamentos	64

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 3.1 Classificação dos solos do Campus Experimental da UNESP de Ilha Solteira/SP	38
Tabela 3.1 Argila (A), Silte (S), Areia Grossa (AG), Areia Fina (AF) e Areia Total (AT), das amostras coletadas de 0 a 0,20 m.	39
Tabela 3.2 Valores médios de fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H) + alumínio (Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V), em função dos tratamentos na profundidade de 0-0,20 m	45
Tabela 4.3 Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função dos tratamentos na profundidade de 0-0,05 m	47
Tabela 4.4 Agregados estáveis sob agitação em água (%) e o diâmetro médio ponderado (DMP), segundo as classes de agregados e tratamentos, na profundidade de 0-0,20 m.	50
Tabela 4.5 Agregados estáveis sob chuva simulada (%), segundo as classes de agregados e tratamentos, na profundidade de 0-0,20 m.	60
Tabela 4.6 Valores médios da comunidade bacteriana, respiração basal, carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (q_{CO_2}), segundo os tratamentos e na profundidade de 0-20 cm.	63



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**CONDIÇÃO DOS AGREGADOS E DA CONSTITUIÇÃO MICROBIOLÓGICA
DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES USOS E MANEJOS AGRÍCOLAS EM
SELVÍRIA (MS).**

JOSEANE CARINA BORGES DE CARVALHO

RESUMO

Este estudo trata do processo de degradação da estrutura do solo sob diferentes condições de uso, a partir da análise da estabilidade dos agregados e análise microbiológica, aliados a análises de rotina, como a distribuição granulométrica e complexo sortivo, carbono e pH, além da densidade e porosidade do solo. Os diferentes usos dos solos estudados foram: substrato degradado, substrato degradado com aplicação de lodo, solo com pastagem, substrato com vegetação regenerada (capoeira) e solo sob cerrado. Os tratamentos que sofreram degradação estão inseridos em uma grande “área de empréstimo”, no município de Selvíria (MS), onde está instalada a Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP do Campus de Ilha Solteira/SP, ao lado da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira.

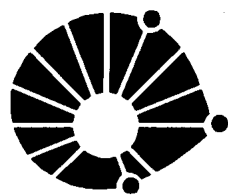
Todos os tratamentos sem lodo revelaram baixa fertilidade dos solos, em função dos teores de bases, matéria orgânica e CTC, além de processos de compactação mecânica, com altos valores de densidade associados. O emprego do lodo de esgoto no substrato degradado imprimiu mudanças consideráveis nos solos.

A análise de agregados mostrou altos percentuais de componentes estruturais nas classes de menores tamanhos, muito adensados, em consonância com a porosidade e a densidade. A aplicação de lodo de esgoto provocou melhora no substrato degradado, com aumento do percentual de agregados nas classes de tamanho maiores, aliado à diminuição da densidade. Os solos com pastagem e cerrado, em ambientes menos impactados, apresentaram maior estabilidade dos agregados nas classes de tamanhos maiores, em decorrência da ação de suas vegetações, promovendo constantes aportes de material orgânico.

A biomassa microbiana e a contagem de bactérias atestaram que os tratamentos foram fortemente influenciados pela quantia e qualidade de material orgânico fornecido, constituindo exemplo sensível a melhoria das condições do substrato degradado, por exemplo, a biomassa microbiana, dentre os solos degradados, ou com lodo aplicado, ultrapassando, nesse quesito, a qualidade do solo degradado que já regenerou uma capoeira. Outro exemplo dessa eficiência foi observado na pastagem, em que as gramíneas proporcionaram valores mais pronunciados na contagem das bactérias do que no solo sob cerrado, confirmado também na estabilidade dos seus agregados, ressaltando a importância da rizosfera das gramíneas para o fornecimento de exsudatos como fonte de energia e nutrientes para a comunidade bacteriana.

Assim, a condição dos agregados associada à constituição microbiológica mostraram-se nitidamente dependentes das práticas de manejo dos solos envolvidos, com resultados muito benéficos trazidos pela aplicação de material orgânico, no caso, o lodo de esgoto.

Palavras-chave: Sistemas de manejo, estabilidade dos agregados do solo, microbiologia do solo, qualidade do solo.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**AGGREGATES CONDITIONS AND SOIL MICROBIAL BIOMASS
CONSTITUTION USED IN DIFFERENTS CROPPING SYSTEMS IN
SELVÍRIA (MS).**

JOSEANE CARINA BORGES DE CARVALHO

ABSTRACT

The aim of this study was the evaluation of the degradation processes of soil structure under different cropping systems, with aggregate stability analysis and microbial biomass activities allied to soil routine analysis, like granulometric evaluation and sorption complexes, carbon, pH, density and soil porosity.

Different cropping systems evaluated in study area were: degraded substrate, sludge added in degraded substrate, pasture soil, regenerated plants soils (underbrush) and scrubland. Treatments that suffered degradation are inserted in a wide-range “lending area”, in Selvíria municipality, Mato Grosso do Sul state, where is established Unesp’s Fazenda de Ensino e Pesquisa - Ilha Solteira Campus, besides Ilha Solteira powerplan.

In different studied cropping systems, all treatments without the use of sewage sludge showed low fertility, characterized by low base supplies, organic matter and CEC. The use of sewage sludge in the degraded substrate showed considerable changes in soils.

Aggregated stability analysis were efficient in changing detection by cropping systems in soil structures. High aggregate percentages were detected in degraded treatment in small size classes, very thick, as seen on porosity and density analysis, with substantial improvements in degraded substrate with sludge, which shows high aggregated percentage in large size classes, allied to lower densities. Pasture and scrubland soils in less impacted environments, showed more aggregated stability on the large size classes, due to its vegetation action, promoting constant furnishing of organic material.

Microbial biomass activities showed, by microbial determination and bacterial counts, that treatments were strongly dependent by quality and quantities of available organic matter, this is an sensible example of an upgrade of a degraded substrate. For example, microbial biomass in the substrate degraded, soil with sludge was better, in this point, on the quality of degraded soil and underbrush soil. Other efficiency example was observed by grass species, which proportionate more acceptable values compared to stunted vegetation soils regarding bacterial counting, that reflects in soil aggregate stabilities in this treatment, confirmed the grass rizosphere importance in supplying the energy and nutrient sources to microbial biomass.

Therefore, the aggregated condition associated to the microbiological constitution showed up clearly dependent on the cropping systems of the involved soils, with results very positives brought by the application of organic material, sewage sludge, in this case.

Keywords: Soil cropping systems, aggregates stability, microbial biomass, soil quality.

1. INTRODUÇÃO

Um importante elemento natural que ainda requer muita atenção, no que diz respeito à sua utilização e conservação, é o solo. Muitas vezes, esse recurso é utilizado sem a devida preocupação com seu depauperamento, ou com o período necessário para sua recuperação, pressupondo-se que ele vai manter-se produtivo para sempre. Muito de sua degradação decorre de tradicionais tecnologias, que empregam maquinário de grande porte nas atividades agrícolas, havendo inúmeros relatos sobre áreas devastadas por essas atividades intensivas de exploração do recurso solo.

No Brasil, são grandes as extensões de terra dedicadas à pecuária bovina, relacionadas a extensas pastagens que, por muitas vezes, possuem um histórico de degradação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, devido, principalmente, à dificuldade em recuperar sua estrutura e, assim, sustentar o nível de produção exigido pelos animais. O mesmo se pode dizer para outras atividades agrícolas mal conduzidas, como reflorestamentos, culturas permanentes e anuais, assim como atividades de horticultura.

Nas últimas décadas, a agropecuária brasileira sofreu grande expansão para o cerrado, devido ao fato de os solos destas áreas terem, em sua maioria, características físicas que facilitam a mecanização e que, quimicamente, podem ser corrigidos. Entretanto, em decorrência de um manejo inadequado, associado ao uso exaustivo, têm sido desencadeadas alterações negativas. Estas influenciam, por exemplo, a atuação dos microrganismos, que possuem importante papel na preservação da estrutura dos solos, principalmente os das regiões tropicais úmidas, em geral pobres em matéria orgânica e muito intemperizados.

A desestruturação de um solo sob mata, por exemplo, ocorre quando este sofre intervenção antrópica, refletindo um rearranjo de seus agregados, criando ecossistemas menos estáveis, que foram mobilizados, com os agregados maiores se desestruturando, passando a agregados de menor diâmetro, que são mais facilmente transportados pelas enxurradas e, quando desprovidos de cobertura vegetal, mais suscetíveis à erosão hídrica.

No ano de 1978 passou a operar, com sua capacidade máxima, a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, na ocasião a terceira maior usina hidrelétrica do País. Diante da magnitude do empreendimento, não é de se surpreender que dele tenham resultado fortes impactos, como os

observados em uma área de aproximadamente 700 hectares, da qual foram retirados 8 metros de solo, utilizados no terrapleno da Usina. Essa área, visivelmente degradada e com sérios problemas de recuperação, foi incorporada à Fazenda de Ensino e Pesquisa da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Ao longo dos anos, diferentes tratamentos de recuperação foram motivo de estudo por parte dos docentes da UNESP-Ilha Solteira.

É nesse contexto de diferentes formas de manejo impressas ao solo (parcelas mantidas com vegetação original, pastagem e culturas em solo degradado), que se insere o presente trabalho, com a hipótese de que as atividades microbiológicas e as condições dos agregados dos solos podem servir como adequados indicadores do processo de regeneração. Assim, tem-se como objetivo identificar a magnitude dos processos degradacionais naquelas distintas condições de uso e manejo e as possibilidades de regeneração, tomando como parâmetros indicadores os agregados e a constituição microbiológica dos solos envolvidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ações antrópicas e seus impactos no quadro natural

Das modificações que ocorrem no meio físico, em consequência de ações antrópicas, o desenvolvimento da agricultura, que surge com o estabelecimento das sociedades, é um deles. Portanto, desde as primeiras civilizações, surgiram formas de apropriação do recurso solo que, no início, e, portanto, de forma empírica, já permitiam ao agricultor, de certa forma, diferenciar o solo pobre do solo fértil, os solos mais produtivos e as culturas mais adequadas, assim como as práticas que promoviam maior produção (SENGIK, 2005).

A superfície terrestre é o grande celeiro dos recursos naturais, constituindo, por isso, objeto universal do trabalho humano. Ao longo da história, novas potencialidades de utilização dos materiais telúricos vão se revelando, num processo que expressa um progressivo uso dos recursos pelas sociedades. Vale lembrar que as formas de apropriação da natureza são, em si mesmas, construções históricas. Nesse sentido, tal relação é sempre determinada pela consciência do recurso e pela disponibilidade de tecnologias. A própria definição de um dado recurso pressupõe a existência de meios tecnológicos para sua utilização (MORAES, 2000).

A tecnicização e a sofisticação dos padrões sócio-culturais de uma população que cresce a índices espantosos podem culminar em um poder impactante cada vez mais avassalador dos recursos naturais (em alguns casos, irreversíveis). Dessa maneira, as intervenções humanas alteram os ambientes naturais que se mostram, ou se mostravam, em estado de equilíbrio dinâmico (ROSS, 1995).

Nos países tropicais, como o Brasil, principalmente a partir da segunda metade do século XX, optou-se pela adoção de um modelo agrícola originalmente desenvolvido em países de clima temperado, o que implicou a adoção de técnicas adversas às condições climáticas do País, cujas consequências têm sido convertidas numa extensa e rápida exaustão dos solos, em seus aspectos físicos, químicos e biológicos (ESPINDOLA & TERESO, 1997).

Compreender a modernização agrícola brasileira sob o âmbito do atual sistema capitalista tem levado os estudiosos das áreas sociais a questionarem seus reflexos negativos na sociedade, em seus parâmetros sócio-econômicos e políticos, como também, no ambiental, devido a

inúmeros problemas, tais como a contaminação dos alimentos, deterioração dos solos, intoxicação dos trabalhadores, descontrole de pragas e doenças, alterações climáticas etc. (GRAZIANO NETO, 1986).

Foi nesses aproximadamente duzentos anos de industrialização do planeta que a produtividade de bens materiais e seu consumo assumiram uma forma bastante acelerada, por vezes desrespeitando a dinâmica dos componentes da natureza e provocando considerável degradação do ambiente (MENDONÇA, 1998). Esse processo transfere à ciência um caráter econômico, social e político que passou a representar, freqüentemente, uma prioridade científica.

O difundido desenvolvimento agrícola em algumas regiões do Brasil inclui um amplo desenvolvimento das culturas, assim como atividades de pecuária, que, devido a um sistema de uso intensivo do solo, faz com que os mesmos careçam de manejos especializados e mais adequados do que aqueles apontados como modelos, desenvolvidos em outras realidades e diferentes graus de desenvolvimento.

Uma característica básica, comum à pecuária em todas as regiões do mundo, e que acaba por ocasionar a exaustão do solo, diz respeito ao atendimento das necessidades alimentares dos rebanhos, que costuma exigir a utilização de áreas relativamente extensas de terra, as quais são mantidas sob a forma de pastagens - cultivadas ou nativas.

O sistema produtivo da agropecuária que se materializa em grandes extensões de pastagens é muito intenso na região de estudo - Noroeste Paulista -, na qual muitas das ocupações que objetivam essa atividade acabam por se revelar inadequadas, pois convergem para uma aceleração dos processos erosivos, que resultam em degradação do solo e da água, com reflexos nos aspectos ambientais e sócio-econômicos. Por vezes, o excesso de cabeças de animais por unidade de área é que acelera o processo de degradação (ESPINDOLA, SOARES & ARRUDA VEIGA, 1998).

Brandini (2000) ressaltou, em seu trabalho de uso e ocupação da região pesquisada, que a utilização intensiva do solo por pastagens sob manejo inadequado tem ocasionado sua degradação. A degradação da pastagem reflete-se em perda de vigor, de produtividade e de capacidade de recuperação natural, tornando deficiente seu uso, de acordo com o nível de produção e qualidade exigido pelos animais. Tais atividades tornam o solo instável e mais susceptível a agentes exógenos, principalmente pela erosão hídrica.

Carvalho (2004) observou, em pastagem na divisa dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, em área contígua à do presente estudo, níveis de degradação associados à presença de erosão em sulcos, ravinas e voçorocas, revelando processos de transporte de materiais e conseqüente deposição em outros locais inadequados, como em áreas represadas de usinas hidrelétricas.

Há que se considerar que o grandioso artefato tecnológico que constitui uma usina geradora de eletricidade está usualmente associado a um amplo desenvolvimento, porém, se se atentar para o seu poder de mudanças, estas costumam ser muito expressivas no quadro natural e, conseqüentemente, na sociedade nele inserida, no que diz respeito aos impactos negativos aí gerados, a despeito dos benefícios que possam gerar para regiões mais distantes.

Foi nos anos 50 que o Brasil passou por um acelerado processo industrial. Para lhe conferir infra-estrutura, foram necessárias políticas setoriais e planos de incentivos que vinham como promessas de “desenvolvimento” às regiões. As hidrelétricas surgiram na categoria dos projetos necessários para alavancar esse momento de progressiva inserção da indústria (BORTOLETTO, 2001). Esses grandes projetos chegaram nas “regiões sedes” como algo que, ao mesmo tempo, assustava e atraía. Assustavam, pelas novidades incrustadas em sua vinda, e atraíam pelo fato de que os discursos eram sempre recheados por promessas de um desenvolvimento garantido (MARTINS, 1993).

Mas o que se vê usualmente na região diretamente ligada a esses empreendimentos, em conseqüência de tais projetos (hidrelétricas), são a desestruturação das atividades econômico-sociais preexistentes, o crescimento populacional desordenado e a degradação ambiental. Conforme apontado por Alves (2001), um dos mecanismos de degradação do recurso solo em projetos hidrelétricos decorre, por vezes, do estabelecimento das conhecidas “áreas de empréstimo” (Figura 2.1), que são os locais de onde são retiradas espessas camadas de solos para complementar os volumes necessários à execução dos terraplenos e fundações.

O disposto até o momento permite delinear certos direcionamentos que a pesquisa científica vem tomando nos últimos anos, principalmente referentes a determinadas práticas agrícolas que possibilitam refletir, como na área de estudo, um uso indiscriminado do solo via técnicas de manejo inadequadas, provocando compactação, erosão e assoreamentos, dentre outros

aspectos, notadamente os decorrentes de grandes empreendimentos que nem sempre primam por estudos prévios dos possíveis impactos que poderão vir a ser ocasionados.



Autor: Colodro (2003)

Figura 2.1 Visão geral da área de empréstimo (Selvíria, MS).

2.2 Degradação do solo

A humanidade depende do solo. Seu padrão de vida é muitas vezes determinado pela qualidade de seus solos e pelos tipos e espécies de plantas e animais que nele se desenvolvem. Solos significam mais do que um meio para o desenvolvimento de culturas. Apóiam alicerces de casas e estabelecimentos; é nele que é feita a “manutenção” dessas estruturas; atuam ainda como receptores de rejeitos de origem animal, industrial e municipal. É evidente, portanto, que os solos e sua utilização assumam importância de âmbito social (BRADY, 1989).

RUELLAN (1988) diz que o solo é essencial por si só e pela influência que exerce sobre os ambientes e sociedades, sendo fonte de alimentos, de matérias-primas e energia e influenciando o comportamento das águas; e é sobre ele que o homem constrói e edifica casas, estradas, fábricas, canalizações etc.

Para compreender o real significado de impactos no solo, faz-se necessário o conhecimento adequado de sua constituição. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), o solo é um corpo natural que contém matéria viva, com capacidade de suportar e nutrir plantas. Essa camada superficial da crosta terrestre é composta por partículas minerais em diferentes estágios de desagregação e alteração, água, substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição.

A degradação de uma área pode iniciar quando sua vegetação nativa e a fauna são prejudicadas, destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo pode ser perdida, removida ou enterrada, assim como a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico são alterados. Assim, a degradação ambiental é acompanhada por uma perda de suas características físicas, químicas e biológicas originais, que constituem prejuízos sócio-econômicos (ALVES, 2001).

Impacto ambiental é toda mudança (positiva ou negativa) sobre o bem-estar e saúde do homem (e dos ecossistemas, dos quais o homem depende) que resulta dos efeitos ambientais produzidos pelas ações ou atividades humanas, estando relacionada diretamente com a diferença na qualidade do meio ambiente que existiria com e sem a ação ou ações consideradas (PASSOS, 1988: 210 citado por FUJIHARA, 2002).

Devido ao fato de não se ter uma real noção do estado de deterioração de um ambiente, além de genericamente se nomear qualquer intensidade do dano ambiental de *área degradada*, foi editado o Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que regulamenta o artigo 2º, inciso VII da lei nº 6.9, de 31/08/1981, que estabeleceu (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006):

(...) são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais e que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano

preestabelecido para o uso do solo, visando a uma estabilidade do meio ambiente.

A acelerada degradação do solo a partir da atividade agrícola, em especial nos trópicos, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com sua qualidade e sustentabilidade da exploração agrícola. Diversos conceitos de qualidade do solo têm surgido, sendo que muitos o definem como sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra (LAL & PIRCE, 1991; DORAN & PARKIN, 1994; ALVES & SUZUKI, 2004).

Os cerrados caracterizam-se por possuírem naturalmente vegetação esparsa, o que demanda um manejo adequado de seus solos. Pereira et al. (1992) sugeriram a reposição e a manutenção da matéria orgânica desses solos a partir da adubação verde, pelos bons efeitos em suas propriedades físicas e na formação e estabilidade de agregados.

Em área vizinha à do presente estudo, igualmente degradada, Alves (2001) desenvolveu um monitoramento de espécies que pudessem auxiliar a recuperar as qualidades físicas e químicas desse antigo subsolo exposto, tendo sido mais promissora a mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*), em experimento sem correção do solo.

Essas leguminosas incorporadas ao solo, pela prática da adubação verde, fornecem matéria orgânica e vão propiciar maior incorporação de nitrogênio ao solo, por meio de bactérias fixadoras (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Cintra & Mielniczuk (1984) estudaram o potencial de algumas espécies vegetais na recuperação de solos compactados, tendo verificado que o desenvolvimento da colza e do tremoço ocorreu mesmo nos solos compactados pela degradação.

Boni et. al. (1994) também estabeleceram a recuperação de um solo degradado (decapitado) com o emprego de leguminosas (crotalária e guandu), tendo verificado ainda a efetiva ação de gramíneas na restauração da porosidade de camadas compactadas pela mecanização agrícola. Substratos profundamente degradados pela mineração de cassiterita foram objeto de pesquisas em Rondônia, por Espindola et al. (2000), em que o emprego de composto orgânico associado a plantas leguminosas mostrou-se de excelente ação restauradora.

Javarez Júnior et al. (1995), em experimento efetuado em área degradada, constataram que as leguminosas contribuíram na melhoria da fertilidade do solo, promovendo a produção de

grande contingente de massa verde e de adequada exploração do solo pelo sistema radicular, o que refletiu expressivamente nas suas propriedades físicas (maior agregação, aumento da capacidade de retenção de água etc.).

Por vezes, ocorre naturalmente um retorno do padrão de vegetação que chega a assemelhar-se ao original, constituindo o que vulgarmente é referido por “capoeira”, sendo este o caso de um dos tratamentos estudados. De acordo com Carvalho (2004), são raros no Brasil os ambientes irremediavelmente degradados, irrecuperáveis pela dinâmica natural da vegetação; o que varia é o tempo necessário para esta regeneração, e este tempo estará relacionado ao grau de degradação sofrido no local. O autor apontou três grupos de fatores que proporcionam a regeneração natural: os que determinam a disponibilidade de sementes, os que afetam a germinação e os que afetam o crescimento inicial.

A recuperação da arquitetura dos solos é um processo essencial em substratos degradados, requerendo, para isso, três condições: a) presença de propágulos viáveis em número suficiente de microorganismos ativos no processo de agregação; b) o suprimento de material orgânico deve ser constante e suficiente para garantir a atividade dos microorganismos e a produção de agentes cimentantes e húmus e c) tempo suficiente para que os microrganismos produzam melhoria estrutural (SIQUEIRA et al., 1994).

2.3 Degradação da estrutura e a estabilidade dos agregados do solo

A importância de se dedicar atenção especial à estrutura do solo está no fato de este atributo indicar tanto boas quanto más condições do solo, sendo sensível às diferentes condições de seu uso e manejo.

A estrutura do solo é definida por Kay (1990) como o arranjo heterogêneo de sólidos e espaços vazios que existem no solo num dado tempo, refletindo indiretamente sua porosidade total, a distribuição por tamanho dos poros e a continuidade do sistema poroso. Na constituição da estrutura do solo também é fundamental o arranjo das partículas primárias do solo, que segue uma hierarquia que identifica zonas de fraqueza e de resistência.

Dentre as principais causas de degradação física do solo, estão: remoção da camada arável, erosão, compactação e quebra dos agregados em unidades menores.

Brady (1989) definiu a estrutura do solo como o arranjo das partículas que o constituem, precisamente de suas frações granulométricas primárias, que vão originar as partículas secundárias - os agregados. Assim, os agregados são originados a partir do arranjo dos componentes sólidos do solo (areia, silte e a argila) e dos vazios, cujo conjunto associado constitui sua estrutura (FERNANDES, 1993). Esta determina as condições de permeabilidade do solo, afetada pelo arranjo das partículas e quantidade de poros, canalículos e fendas; quanto mais desenvolvida a estrutura, maior é a permeabilidade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A formação da estrutura do solo e seu papel no desenvolvimento da vegetação estão diretamente ligados aos teores de areia, silte e argila. Assim, Kiehl (1979) afirmou que, mesmo havendo dificuldade de se analisar isoladamente as classes texturais de solos, seu conhecimento fornece importantes interpretações, como no caso de um solo argiloso, que geralmente possui densidade menor, porosidade total maior, microporosidade maior e alta capacidade de retenção de água, dentre outras características. Os solos arenosos comportam-se, geralmente, de maneira contrária a dos argilosos, ou seja, densidade maior, porosidade total maior, macroporosidade maior etc., mas todos esses atributos são muito dependentes do uso e manejo empregados.

Muitos Latossolos, amplamente distribuídos na região de cerrados, mesmo quando apresentam textura argilosa ou muito argilosa, em condições naturais (sem manejo) comportam-se como solos arenosos, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de troca de cátions, alto volume de macroporos, média susceptibilidade à erosão e relativamente baixa susceptibilidade à erosão (FREITAS, 1992). Tal comportamento é reflexo de uma estrutura formada de microagregados muito estáveis em água, que consistem de partículas de argila cimentadas, principalmente por óxidos de ferro e alumínio e/ou por matéria orgânica, podendo até mesmo apresentar comportamento de pseudo-siltes ou pseudo-areias, influenciando assim as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo

A importância de se conhecer a granulometria de um solo está, principalmente, no papel exercido pela argila, que regula suas propriedades físicas e químicas, na superfície das quais ocorrem reações químicas e trocas de substâncias nutritivas. Se a argila é de alta atividade atrairá para sua superfície, com maior intensidade, elementos nutritivos. Essa alta atividade das argilas (colóides), além da atração de elementos nutrientes, dificulta a lixiviação, liberando lentamente

os nutrientes para a absorção pelas plantas (BRADY, 1989). Assim, na análise química, as bases, o alumínio e o hidrógeno trocáveis são atraídos pelas cargas negativas dos colóides (minerais ou orgânicos), constituindo a capacidade de troca catiônica (CTC), que, juntamente com a soma de bases (S) e a saturação por bases (V%), são utilizadas como índices de fertilidade dos solos, com seus reflexos sobre as plantas (LOPES e GUIDOLIM, 1989). Os colóides são, por tanto, os principais responsáveis pela atividade química dos solos (LOPES, 1984). Há que se considerar ainda os colóides de carga positiva, como os sesquióxidos, capazes de atrair, ou até mesmo imobilizar cátions negativos, como PO_4^{-3} (BORNEMISZA, 1982).

Oliveira et al. (1992) referiram-se a esse arranjo como uma aglutinação das partículas primárias em partículas compostas, delimitadas por superfícies de fraqueza ou separadas por descontinuidades, dando origem a agregados de configurações peculiares, inerentes à organização natural da matéria sólida constitutiva dos horizontes componentes do perfil do solo. A maneira como os agregados arranjam-se, ou seja, agrupam-se, é devida a fenômenos físico-químicos e à atuação biológica sobre as partículas minerais primárias do solo (areia, silte e argila) e sobre a matéria orgânica. A estrutura condiciona comportamento do solo, que se reflete na sua maior ou menor facilidade de trabalho, afetando a permeabilidade à água, a resistência à erosão e as condições de desenvolvimento radicular das plantas, muito influenciados pelo preparo e cultivo do solo. Solos de estrutura degradada são usualmente de baixa produtividade.

Espindola & Sanches (1999) detiveram-se sobre a distribuição de partículas primárias e secundárias de latossolos submetidos a diferenciados usos e manejos agrícolas, tendo observado forte efeito da matéria orgânica sobre os resultados da agregação, o que aponta para a debilidade da estrutura dos solos tropicais de regiões úmidas, pobres em matéria orgânica frente às práticas de manejo, que vão afetar a sua estabilidade.

A estabilidade da estrutura do solo diz respeito à sua habilidade em conservar o arranjo de sólidos e espaços vazios quando submetido a diferentes estresses (KAY, 1990). Kemper e Rosenau (1986) consideraram o agregado um grupo de partículas primárias coesas. A desintegração da massa de solo em agregados requer a imposição de uma força destrutiva; sua estabilidade ocorre a partir das forças de coesão entre as partículas.

Dexter (1988) estabeleceu dois tipos de estabilidade dos agregados do solo. O primeiro refere-se à capacidade de conservação da estrutura do solo sob a ação da água, e o segundo relaciona-se à capacidade do solo em conservar sua estrutura diante de pressões externas.

As forças de estabilização do agregado do solo são de vários tipos, sendo atribuídas a: compostos orgânicos, conteúdo de argila, tipo de cátions adsorvidos, pH e polímeros de hidróxidos de Al e Fe (MEESTER & JUNGRIUS, 1978).

A estabilidade dos agregados do solo é também dependente da união mecânica das células e hifas dos organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição que agem individualmente ou em combinação. A agregação do solo pode sofrer alterações permanentes ou temporárias, demonstrando variação cíclica provocada por práticas de manejo de solo e culturas (WOHLENBERG et al., 2004).

Três fatores básicos influem na estabilidade dos agregados: (a) ação aglutinadora dos microrganismos (fungos); (b) efeito cimentante advindos da síntese e da decomposição microbiana (pré-humo) e (c) cimentação a partir de componentes mais resistentes e estáveis do humo, todos esses auxiliados por compostos inorgânicos, tais como os constituídos por Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Al^{3+} , compostos estes que funcionam como pontes entre a matéria orgânica e as argilas do solo (BRADY, 1989).

A denotada estabilidade de solos vermelhos e amarelos de áreas tropicais e semitropicais é altamente influenciada pelos óxidos de ferro, dando-lhes maior resistência. São considerados agregados estáveis ou de baixa resistência aqueles que se destroem com a ação das chuvas ou com o revolvimento pela mecanização. A resistência à desintegração representa, de certa forma, a manutenção da estrutura do solo (BRADY, 1989). Os óxidos de ferro mostram um acentuado efeito na agregação, com tendência a serem ainda mais ativos na formação de agregados menores (FERNANDES, 1993). As argilas, juntamente com os óxidos e hidróxidos de ferro, propiciam o aumento da estabilidade de agregados por serem agentes cimentantes, porém, solos que possuem tais elementos numa grande quantidade são freqüentemente pouco férteis, podendo apresentar camadas endurecidas (GROHMANN, 1972).

Kemper & Koch (1966) afirmam que a adição de matéria orgânica ao solo proporciona maior agregação, numa ação coadjuvante à dos sesquióxidos. Há, entretanto, constituintes sob

formas que proporcionam menor agregação, como é o caso do ferro orgânico, que propicia apenas ligeira cimentação, passível de ser rompida facilmente.

A matéria orgânica é o principal agente de formação dos agregados do tipo granular e grumoso nos horizontes superficiais, que não apenas aglutina, mas também confere o caráter leve e expansivo/poroso aos agregados (BRADY, 1989). Wischmeier et al. (1971) verificaram que abaixo de 6 % de matéria orgânica, os solos perdiam sua estabilidade.

Melo e Marques (2000) constataram que a matéria orgânica exerce um importante papel enquanto colóide, ou seja, retém, por atração, nutrientes para o desenvolvimento vegetativo, constituindo-se em um elemento essencial para o êxito das atividades agropecuárias, principalmente em se tratando dos solos tropicais, que são altamente intemperizados, o que, geralmente, dá origem às argilas de baixa atividade.

Em condições tropicais, em que as maiorias dos solos são ácidos e muito lixiviados, a matéria orgânica é responsável pela maior parte da capacidade de troca de cátions – CTC, e pela liberação de nutrientes. A CTC da matéria orgânica é cerca de 30 vezes superior à CTC dos argilominerais. Ela fornece a maior parte de suprimento de nitrogênio, fósforo e enxofre, sendo ainda um fator muito importante no armazenamento de água (CORRÊA & MELO FILHO, 1998).

Foram realizados estudos por Schaller e Stockinger (1953), comparando cinco métodos para expressarem dados de agregação, tendo verificado que o melhor deles para se medir a distribuição dos agregados é o DMP (diâmetro médio ponderado), ou ainda o DMG (diâmetro médio geométrico), com o cálculo do logarítmico do desvio padrão.

As condições físicas do solo podem alterar-se de várias maneiras, inclusive a partir de processos naturais. O equilíbrio das condições físicas do solo depende da sua constituição, do clima e dos sistemas de manejo; este último é o maior responsável por mudanças que alteram modificando o seu comportamento, como a hidrologia e a atividade biológica, gerando diferentes condições (DEXTER, 1991).

Observa-se que a agregação do solo e sua estabilidade são muito importantes para sua capacidade produtiva, sendo a água o fator que mais contribui para a destruição dos agregados, fragmentando-os por perda de coesão e rompendo-os progressivamente em unidades de menores tamanhos.

Os trabalhos relacionados ao comportamento dos agregados do solo usualmente estiveram relacionados às idéias pioneiras, preconizadas por Yoder, desde 1936, de acordo com Kemper e Chepil (1965), que observava o comportamento de amostras de solo imersas em água em um jogo de peneiras, cujo ingresso nos poros provocava uma compressão da atmosfera interna, nos vazios de solo. Quando a força superava a coesão das partículas, tornava-se responsável pelo rompimento dos agregados.

Ao se determinar a distribuição ou a estabilidade dos agregados do solo, os métodos empregados devem reproduzir, da melhor forma possível, os fenômenos de campo, com respeito à ação das gotas de chuva (impacto) e da água concentrada, com sua força de arraste. É usual envolver uma determinada classe de agregados (tamanho) para se estabelecer sua estabilidade em função de os mesmos resistirem ao rompimento que ocorre a partir de forças exercidas (KEMPER & ROSENAU, 1986).

No Brasil, o Instituto Agrônomo em Campinas (SP) foi um dos responsáveis pelas pesquisas sistemáticas iniciais referentes à estabilidade dos agregados do solo, a partir de trabalhos desenvolvidos por Grohmann (1960) e por Grohmann e Conagin (1960), que a estudaram sob diferentes condições de uso. Tal estudo foi calcado na relação funcional entre o tempo de agitação e o peso dos agregados, denotando que o método da agitação em água mostrava-se eficaz na separação das diferentes classes de agregados sujeitos a distintas condições de uso e manejo.

Com relação à metodologia de estudo da estabilidade dos agregados, em 1994 reuniu-se uma Comissão sobre “Metodologia para Avaliação da Agregação do Solo”, por ocasião da IX Reunião Brasileira sobre Manejo e Conservação do Solo e da Água (UNESP/Campus de Jaboticabal), na qual se ressaltou a importância do agregado para estudos de manejo do solo. Os aspectos que, segundo os pesquisadores, mais influenciariam a estabilidade dos agregados seriam: carbono orgânico (matéria orgânica), CTC, Ca, Al, pH, salinidade, atividade microbiana, teor de argila e erodibilidade (DECHEN, 1994). Verificou-se, naquela oportunidade, que o método mais utilizado pelos pesquisadores era o peneiramento por via úmida, preconizado por Yoder e aperfeiçoado por Kemper e Rosenau (1986), acessível por requerer apenas agitador e peneiras, possibilitando avaliar as alterações nas classes de tamanho dos agregados.

Benito Rueda e Diaz-Fierros Viqueira (1989) defenderam o propósito de se contrapor diferentes métodos de mensurar a estabilidade dos agregados do solo, pela dificuldade de comparação de diferentes medidas de um lugar para outro.

A importância de se compreender a estabilidade dos agregados para fins de melhor adequar o solo para a produção fez com que um boletim científico fosse desenvolvido nos Estados Unidos e no Canadá (519 classes de solos), para avaliar a estabilidade dos agregados e sua correlação com os constituintes do solo. Ficou claro aí que, desde que a estabilidade pode ser medida sob uma força de desintegração que varia, seja por métodos naturais (hidrológicos) ou induzidos, a validação dos resultados deve se admitida pela comparação com valores de outros solos e outros métodos (KEMPER & KOCH, 1966).

Silva et al. (1996) objetivaram estabelecer as diferenças que ocorrem na análise da estabilidade estrutural do solo pelo método de Kemper e Chepil (1965), tendo promovido uma ligeira modificação na amostragem inicial. A média de variação do DMG dos agregados determinados pelo método de Kemper e Chepil foi de 2,05 mm, enquanto com as modificações, a média do DMG foi de 0,99 mm. Tais valores denotaram que para o solo em questão – Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo), o primeiro método melhor detectou as diferenças de estabilidade estrutural entre os tratamentos, pois a média do DMG de todas as condições de uso foi sempre duas vezes maior no método de Kemper e Chepil sem modificação.

Um inovador método com agregados do solo foi desenvolvido por Azevedo (2004), que objetivou desenvolver um modelo que explicasse a gênese de agregados menores que 2 mm para os Latossolos (microagregados), em geral de alta estabilidade, devido à presença de óxidos de ferro, óxidos de alumínio e caulinita. Assim, a partir da aplicação de energia desagregante e observação da distribuição do material resultante em classes de tamanho, obteve uma hierarquia nos tamanhos. A determinação dos agregados foi feita por molhamento rápido, sem agitação (tempo 0), resultando um não-aumento da massa de agregados nas classes de tamanho menores simultaneamente à desagregação nas classes de tamanhos maiores, caracterizando um solo sem hierarquia, ou seja, a desagregação ocorria em todas as classes de tamanho. Conclui-se que a gênese dos agregados deste solo deveria encerrar contemplar um mecanismo de agregação para formação dos agregados pequenos no horizonte B, um mecanismo de desagregação no topo do B e um mecanismo para formação de agregados grandes no horizonte A.

Correlacionando diferentes formas de determinar agregação dos solos, Angulo et al. (1984) avaliaram três procedimentos: peneiramento em água sob pressão atmosférica e a vácuo. Os resultados foram representados de seis formas: DMP, DMG, agregados maiores que 4 mm, 2 mm, 1 mm e 0,25 mm, além da resistência ao impacto de gotas de água. Obtiveram um aumento da estabilidade dos agregados com a retirada de ar contido nos poros; os agregados > 2mm e 1mm acusaram boa estabilidade e houve maior suscetibilidade à desagregação dos solos submetidos ao peneiramento sob pressão atmosférica.

Com o intuito de buscar métodos que mais se assemelhem com o comportamento natural dos agregados do solo no campo, trabalhos que adotam simuladores de chuva vêm sendo desenvolvidos. Uma preocupação dos pesquisadores é a de acelerar os resultados das pesquisas sem a dependência da ocorrência de chuvas, além do aumento na eficiência com o controle de água aplicada. O simulador propicia o monitoramento das parcelas e equipamentos durante a coleta de dados (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Visando ainda melhor reproduzir a situação de chuva no campo, desenvolveu-se o método das gotas de água, preconizado na Espanha desde 1944, conforme citado por Roth (1988). Este método consiste na formação de gotas de tamanhos definidos a partir de uma agulha hiperdérmica e de frequência constante, com altura de queda variada. Os resultados são expressos pelo índice de estabilidade dos agregados (I_{EA}) e DMP do “splash”, que mostram correlação em seus resultados, de modo a poderem expressar a erodibilidade de solos.

Meester e Jungerius (1978) também estudaram, para melhor elucidar as causas da ruptura dos agregados do solo, a influência da quantidade de gotas necessárias para que ocorra seu rompimento, o tamanho médio dos agregados depois do rompimento e a influência de pequenas partículas minerais que lhes determinam uma específica vulnerabilidade à erosão; todos esses fatores foram correlacionados ao Fator K (Equação Universal de Perdas de Solo), porém, não revelaram correlação significativa entre o número de gotas de água e a desestruturação dos agregados maiores em menores.

A utilização de simulador de chuva em trabalhos de campo demonstrou confiabilidade no seu uso para diferentes finalidades, tal como na avaliação dos fatores que afetam a infiltração da água no solo. Roth (1985) trabalhou com uma unidade formadora de gotas montada a três metros do solo e uma caixa contendo quatro reservatórios para fornecimento aos tubos de polietileno,

formadores das gotas. O tamanho das gotas era controlado por tubos de diferentes diâmetros (0,1 – 1 mm e 2,82 – 3,72 mm) e a intensidade da chuva pela altura da água, com intensidade entre 0 e 185 mm/h; a energia cinética produzida pelo simulador alcançava de 60 a 80 % da energia de uma chuva natural, com o diâmetro das gotas assemelhando-se ao das chuvas naturais. No trabalho relatado foram obtidos 60 mm/h de precipitação média em um Latossolo Vermelho distroférico, sendo que a taxa de infiltração diminuiu para 5 mm/h depois de 60 minutos de chuva simulada.

Benito Rueda e Diaz-Fierros Viqueira (1989), para medirem a estabilidade estrutural em água, estabeleceram três métodos comparativos de medida – teste de simulação de chuva, teste de Emerson e teste de permeabilidade de Hénin. Os autores estudaram a aplicação de tais métodos sobre um conjunto de amostras representativas dos principais tipos de solos da Galícia (Espanha). Dos três métodos analisados, o simulador de chuva foi o que melhor refletiu as condições.

Para melhor compreender as causas da desestruturação dos agregados, análises microscópicas também têm sido estabelecidas, comprovando a reação do solo diante de forças erosivas, especialmente em relação à expansão das argilas, que impede e/ou dificulta a circulação de ar e a infiltração da água (MEESTER & JUNGRIUS, 1978).

2.4 Atividade microbiológica e estabilidade dos agregados do solo

Uma das linhas de pesquisa sobre agregação vem a ser a atuação dos microrganismos sobre o mecanismo de produção de substâncias que são por eles geradas e que condicionam a agregação do solo.

Diante do reconhecimento da importância dos microrganismos do solo, tem aumentado o interesse em se estimar os nutrientes contidos em suas biomassas, a qual fornece dados úteis sobre mudanças nas propriedades biológicas do solo decorrentes do seu uso (THEODORO et al., 2003).

Os organismos vivos (milhões de bactérias, milhares de protozoários, centenas de metros de hifas de fungos, centenas de térmitas, insetos etc.) encontrados nos solos têm sido considerados como a “microbiomassa do solo” (SIQUEIRA et al., 1994). Também Wardle e

Hungria (1994) definiram a biomassa microbiana como o componente microbiano vivo do solo, composta de bactérias, fungos, microfauna e algas.

No curso do processo evolucionário, os microrganismos adquiriram características e adaptabilidade para co-existirem com diferentes seres vivos, estabelecendo relações diversas em forma e função (...). Microrganismos e plantas não tem mãos, não tem visão, não ouvem e não falam, mas são capazes de comunicarem-se molecularmente e de estabelecerem reconhecimento mútuo, através de interações celulares que lhes permitem invadir e multiplicar nos tecidos vegetais (SIQUEIRA, 1994).

Com a frequência de processos de depauperamento que o solo tem sofrido, principalmente a partir de técnicas de manejo mal conduzidas, têm se tornado freqüentes trabalhos que buscam estudar parâmetros que indiquem seu estado de conservação e/ou degradação. Dessa forma, a diversidade microbiológica, por estar intrinsecamente ligada a diversos processos endógenos do solo, tem se configurado um importante indicador de sua qualidade (ZILLI et al., 2003).

Além de a atividade microbiológica constituir um potencial indicador de qualidade do solo, ela tem a habilidade de permitir predizer mudanças em suas propriedades. Estão aí incluídos, principalmente, bactérias e fungos, em diferentes proporções, que variam de solo para solo, influenciado, a matéria orgânica, a estrutura, o pH, a umidade, a temperatura e a aeração, além de outros fatores (CHEN et al., 2003).

No universo dos microrganismos, a comunidade bacteriana é estimada em 10^8 a 10^9 organismos por grama de solo, apresentando elevada taxa de crescimento e alta capacidade de decomposição dos diferentes substratos contidos no solo, exercendo importante papel na decomposição da matéria orgânica. Os fungos são encontrados no solo em comunidades, variando de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo, predominando em solos ácidos, com hifas ramificadas que lhe conferem aspecto de algodão (BRANDÃO, 1992).

A atividade microbiológica constitui-se por microrganismos decompositores que, juntamente com as enzimas, decompõem os componentes da matéria orgânica do solo e outros

compostos orgânicos depositados. Posteriormente, estes são adsorvidos e mineralizados pela microbiota, transformando-se em biomassa, com liberação de CO₂ (SIQUEIRA et al, 1994).

Microrganismos como fungos e bactérias podem produzir substâncias gomosas, lipídios e outras substâncias insolúveis em água, que podem revestir partículas unitárias, contribuindo para a formação de agregados, ou para estabilizar agregados já formados (LOPES, 1972).

A coesão entre as partículas minerais é facilitada pela ação de organismos cimentantes, sendo que a união entre componentes orgânicos e minerais afeta, portanto, a estrutura do solo. A vida microbiana ocorre nos poros do solo ocupando cerca de 50 % de seu volume (RANJARD & RICHAUME, 2001).

A sobrevivência dos microrganismos do solo depende de sua boa adaptação às condições reinantes, utilizando diferentes fontes de energia em distintas condições ambientais. Essa adaptabilidade confere a certas espécies de microrganismos extraordinária flexibilidade quanto à sua nutrição, influenciando na mudança de seu conjunto de enzimas, que, por sua vez, lhe dá maior capacidade de sobrevivência em condições diferenciadas (NEVES, 1992).

A adição de material orgânico, na ausência de microrganismos, não chega a provocar alterações na estrutura do solo, como na capacidade de promover agregação, porque os microrganismos, quando presentes, facilitam sua decomposição, melhorando a agregação (HARRIS et al., 1966).

Tratando-se de solos submetidos a atividades agrícolas, observa-se uma constituição de complexos microhabitats. Tais práticas conferem ao solo modificações em suas características físico-químicas ou biológicas, mudanças essas que promovem seleções, favorecendo a permanência de alguns componentes e eliminando outros, remanejando os estados de equilíbrio entre as populações (NEVES, 1992).

A diversidade da biota do solo é importante em uma agricultura sustentável porque os microrganismos executam funções ecológicas diversas, tais como a reciclagem dos nutrientes de plantas, a manutenção da estrutura do solo, a desintoxicação do solo por produtos químicos nocivos e o controle de pragas (LUPWAYI et al., 2001).

Os solos minerais abrigam variada população de organismos vivos, que variam em número, quantidade e tamanho, desde os grandes roedores, minhocas e insetos até as minúsculas bactérias. Essa quantidade de matéria orgânica viva, que inclui a raizame, exerce influência

marcante sobre as características físicas e químicas das mutações do solo. Ações de organismos do solo podem proporcionar também linhas de fraquezas, através das quais são possíveis movimentos de constituintes, que acabam por forçar contatos e intensificar a granulação (BRADY, 1989).

De acordo com Graziano Neto (1986), os solos tropicais requerem um manejo especial, sob o risco de se tornarem pouco férteis, devido à destruição da matéria orgânica, eliminações da microvida e lixiviação dos nutrientes, que os tornam mais frágeis, estruturalmente, e suscetíveis à compactação e à erosão.

Estudo realizado em dois solos na Itália mostrou que as alterações das rochas eram favoráveis ao desenvolvimento da comunidade bacteriana que sobrevive na matéria orgânica contida nestes fragmentos, até mesmo em horizontes profundos. Os resultados apresentados da biomassa microbiana confirmaram a alta eficiência metabólica da comunidade microbiana presente nos fragmentos de rocha, devida ao alto quociente metabólico (qCO_2) registrado ao longo dos dois perfis (AGNELLI et al., 2001).

A estrutura do solo sofre muita influência da adesão dos microrganismos às partículas minerais; quando seus tamanhos são semelhantes, a adesão ou ligação das partículas (principalmente de argila) às células microbianas é facilitada. Esta ligação é de caráter químico, principalmente por intermédio de substâncias cimentantes, como certo tipo de gomas ou mucilagens (TSAI, 1992).

As atividades microbiológicas, especialmente as de fungos, afetam a formação e a estabilização dos agregados do solo. Guggenberger et al. (1999) executaram um experimento de laboratório no qual introduziram ^{13}C em microagregados de um solo cultivado; dias depois, foi medida a distribuição por tamanho dos agregados estáveis em água. Os macroagregados derivados da incorporação de C representavam 56 % da massa do solo e os fungos dos macroagregados da comunidade bacteriana foram os que predominaram.

A ação eficiente da bactéria no solo é importante em proporcionar um adequado desenvolvimento de vegetais superiores. Incluem-se entre as bactérias os microrganismos fixadores de nitrogênio, que retiram o N_2 do ar e o convertem em formas amoniacais, utilizáveis por plantas (BRADY, 1989). Chen et al. (2003) ressaltaram a ação do carbono e do nitrogênio no solo, como nutrientes que as plantas requerem para seu crescimento e desenvolvimento; o

primeiro é assimilado pelo processo de fotossíntese e, então, convertido para as plantas por vários compostos, como os carboidratos, enquanto o nitrogênio geralmente é assimilado por uma ou outra proteína.

O efeito da baixa ou alta qualidade residual da aplicação, ou não, de nitrogênio mineral sobre a formação de macroagregados e sobre a população de fungos e bactérias demonstrou não ter sido significativa na agregação, respiração microbiológica e total da biomassa microbiana. Em contrapartida, a população bacteriana foi favorecida pela alta qualidade residual (BOSSUYT et al. 2001).

Com o intuito de mensurar a influência microbiológica na agregação do solo, Bossuyt et al. (2001) estudaram o tempo de formação dos agregados e a estabilidade dos agregados em água, bem como a qualidade do resíduo na agregação e a respiração microbiana e atuação dos fungos e bactérias. Após 14 dias do solo incubado em regime de capacidade campo, foram encontrados novos agregados, porém, menos resistentes.

Resultados positivos têm sido alcançados na obtenção de uma estabilidade do solo melhor quando sua cobertura vegetal é gramínea, devida ao seu vigoroso sistema radicular, que promove suprimento de material orgânico necessário aos organismos do solo, dando-lhes energia para sintetizar substâncias gomosas de efeito agregante, permitindo ainda o crescimento da população microbiana e, conseqüentemente, uma atividade biológica maior (HARRIS et al., 1966).

Arações e queimadas causam significativas mudanças nos microrganismos do solo, conforme demonstrado por Sanchez (1976), tendo comentado que as queimadas causam parcial esterilização do solo. O total da população microbiana diminuiu durante a estação seca e aumentou durante a chuvosa, tendo variado também em função da fertilidade do solo.

2.5 Manejo do solo e a estabilidade dos agregados

Muitas técnicas empregadas no solo agridem-no, tornando-o susceptível aos processos erosivos e, conseqüentemente à degradação. A própria aração surgiu com o intuito de revolver o solo profundamente, para expor suas camadas enregeladas ao sol, estimulando a proliferação dos microrganismos, em climas temperados. Entretanto, tal procedimento nos solos tropicais pode

revelar efeito contrário, que é o de minimizar essa proliferação, já que na maior parte do ano o clima caracteriza-se por ser quente.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) comentaram que os diferentes sistemas de cultivo propiciam diferentes condições finais de exposição do solo aos agentes erosivos, visto que promovem mobilização e cobertura vegetal diferenciada, ocasionando diferentes graus de proteção contra as perdas de água e solo. Assim, o manejo tem grande influência no processo erosivo.

Vale a pena ressaltar que a Pedologia surgiu na região de clima temperado (Ex-URSS, E.U.A.e Europa), cujos princípios resultaram, muitas vezes, no modelo seguido pelas demais regiões do mundo (SANCHEZ, 1976). Tereso & Espindola (1999) analisaram essa questão da importação de técnicas indevidas para as condições brasileiras, envolvendo também aspectos técnicos e políticos.

Dessa maneira, práticas de manejo do solo com visão conservacionista são essenciais para sua sustentabilidade, cuja implementação parte sempre do uso adequado do solo em função de sua capacidade produtiva, com intensidade de tratamentos em consonância com suas necessidades (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Corrêa (2004) admitiu que uma considerável parcela da responsabilidade pela expansão de solos exauridos deve ser atribuída ao emprego indiscriminado das máquinas nas operações agrícolas. Isso implica a necessária realização de um estudo prévio das particularidades do terreno no qual se realizará a prática agrícola, a fim de que sua mobilização não ocasione destabilizações que facilitem a ação erosiva da água da chuva.

No Brasil, os programas governamentais para o setor agrícola, nas décadas de 70 e 80, contribuíram grandemente para o desenvolvimento de tecnologias que possibilitaram a abertura de novas fronteiras agrícolas, como o cerrado, buscando altos índices de produção na agropecuária brasileira. A princípio, tais resultados pareciam muito promissores e otimistas, mas os impactos ambientais também começaram a crescer a partir da intensificação da exploração agrícola mal conduzida (ZILLI et al., 2003).

Uma revolucionária técnica de manejo agrícola, que vem se intensificando, é o Sistema Plantio Direto, que requer mínima mobilização do solo, plantando preferencialmente sobre o solo não lavrado, contendo restos vegetais em decomposição, que o mantêm protegido do impacto das

gotas de chuva e garantindo mais umidade e matéria orgânica. O sistema admite, excepcionalmente, cultivos mínimos (combater ervas daninhas) e escarificação (com preservação da cobertura viva ou morta na superfície). Em geral, esse procedimento tem proporcionado lucros excepcionais, em consonância com a idéia de sustentabilidade, com boa proteção do ambiente, além de poder ser usado por qualquer tipo de agricultor (LANDERS, 2005).

No Estado de São Paulo preparam-se anualmente aproximadamente de 6 a 7 milhões de hectares para agricultura, em operações que envolvem a remoção de ervas daninhas, fertilização e plantio ou semeadura. Assim, avaliar os efeitos de equipamentos e sistemas de manejo tornou-se primordial à pesquisa na área de solos, que, freqüentemente, lança mão de determinações que envolvem a estrutura dos solos, como a determinação da estabilidade dos seus agregados (CASTRO, 1990).

Fujihara (2002) ponderou que o desenvolvimento agrícola no Oeste e Noroeste do Estado de São Paulo partiu inicialmente da atividade cafeeira; com sua crise no mercado internacional, em 1929, acabou sendo substituída por outras atividades, tais como a cana-de-açúcar, o algodão e a pecuária bovina de corte. Nesse último caso, o sistema produtivo predominantemente adotado foi o sistema extensivo, baseado em pastagens que ocupam extensas áreas de terras, muitas vezes mal conduzidas e, por isso, exauridas, em razão do depauperamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Sendo assim, estudos referentes à qualidade do solo têm procurado estabelecer variáveis que detectam mais adequadamente suas alterações em função do manejo. O carbono total ou a matéria orgânica do solo estão entre tais variáveis consideradas indicadores-chave da qualidade do solo, por se tratarem de fonte de alimento aos organismos do solo (ALVES, 2001).

Nos cerrados brasileiros há predominância de Latossolos, que ocupam cerca de 50 % de sua área, caracterizando-se por elevado intemperismo, baixa fertilidade natural e alta estabilidade dos agregados, principalmente devida aos óxidos, oxidróxidos e hidróxidos de alumínio e ferro (OLIVEIRA et al., 2004), notadamente quando argilosos.

A zona do cerrado brasileiro, que ocupa cerca de 200 milhões de hectares (23 % do território nacional), é caracterizada por uma intensa utilização com pecuária extensiva, tendo estes solos sido, por muito tempo, pouco utilizados para cultivos agrícolas. Graças às suas boas

características físicas, melhorá-lo no aspecto químico pode torná-lo adequado à produção de grãos, além de abrigar 42 % do rebanho bovino nacional (LONGO et al., 1999).

De acordo com Oliveira et al. (2004), o cerrado brasileiro vem sendo, nas últimas décadas, substituído por pastagens e, em menor proporção, pela agricultura, com amplo predomínio de Latossolos. Apesar de sua usual elevada estabilidade dos agregados, são porém, muito susceptíveis aos efeitos do tráfego de máquinas. Tais solos, quando corrigidos quimicamente, contribuem muito para as diversas atividades agrícolas, haja vista a grande expansão da soja no Brasil Central.

As pastagens são tidas como um uso que garante certa proteção ao solo. A combinação agricultura-pecuária bem administrada constitui a condição ideal para a manutenção da fertilidade do solo, assegurando, de um lado, uma densa vegetação, e, de outro, contribuindo para o suprimento orgânico (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A distribuição do tamanho dos agregados é fortemente afetada pelos cultivos ao qual o solo foi submetido, além do procedimento analítico ao qual a amostra foi submetida durante o peneiramento. Segundo Kemper & Rosenau (1986), o peneiramento rotativo pode ser utilizado para obter boas medidas dos efeitos dos instrumentos de cultivo na distribuição do tamanho dos agregados.

Angers & Vigneux (1992) submeteram um campo permanente de gramíneas de pastagem a uma substituição por plantação de milho, não tendo verificado decréscimo de matéria orgânica, mas, sim, uma redistribuição superficial da mesma, tendo a cultura se beneficiado da agregação do manejo anteriormente praticado.

Oliveira et al. (2004) analisaram parâmetros (infiltração, densidade, textura etc.) de um Latossolo Vermelho cultivado sob semeadura direta e com arado de discos. Superficialmente, o solo sob semeadura direta revelou ter estrutura mais alterada, fato este não esperado quando há aplicação de resíduos vegetais, o que permitiu intenso fornecimento de água. A densidade foi menor na semeadura direta (maior aporte de material orgânico) e maior no manejo com arado de discos, em virtude de este procedimento ter exercido uma compactação devida ao intenso peso do maquinário.

Corrêa (2002) estudou o efeito de diferentes cultivos anuais na estabilidade dos agregados em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, sob nove usos e manejos distintos, desde

mata nativa a cultivos de soja e arroz. Observou que áreas de cultivo intensivo perdem sua estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução de macroporos e aumento de microporos e da densidade. O maior fracionamento dos agregados foi verificado nas áreas preparadas com grade aradora e niveladora para o monocultivo da soja. Os sistemas com menores revolvimentos do solo e adição da palhada detiveram o declínio da qualidade estrutural dos solos cultivados.

Diversos trabalhos mostram que a tendência do manejo agrícola é provocar uma diminuição na quantidade de agregados maiores que 2 mm. Bognola et al. (1998) determinaram o DMG e a estabilidade dos agregados (via úmida e via seca) em Latossolo Vermelho com talhões de eucalipto (*Eucalyptus dunii*), numa fase preliminar à adição de resíduos de fabricação de papel. Na determinação do Diâmetro Médio Geométrico utilizaram-se métodos indiretos para analisar as causas de agregação do solo, tamanho, estabilidade e distribuição em classes de agregados. Os resultados mostraram diminuição brusca da percentagem média dos agregados de maior diâmetro. A partir dos agregados menores que 2 mm a distribuição por classe de diâmetro mostrou-se semelhante, o que denotou as boas características físicas do solo: 70 % dos agregados maiores que 2 mm continuaram estáveis em água. Por via seca, os agregados maiores que 2 mm de diâmetro alcançam 27 % na camada de 0-10 cm e 62 % na profundidade de 10-20 cm.

Um importante fator a ser considerado é o período de tempo que a cultura está estabelecida e as práticas de manejo empregadas nas mesmas. Baldock e Kay (1987) avaliaram a estabilidade dos agregados do solo em água em uma cultura de milho e outra com gramínea, ambos com 15 anos de cultivo. Constataram que o tamanho e a estabilidade dos agregados aumentavam com o aumento do tempo de permanência das gramíneas na história das culturas, afirmando a eficácia de seu sistema radicular como fornecedor de materiais que aglutinam as partículas do solo.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a densidade do sistema radicular das gramíneas afeta a ação da erosão; quando elevada, retém as partículas de solo contra a pressão da água, formando rugosidades no terreno, que retardam o movimento da água, minimizando a erosão eólica.

Silva e Silveira (2002) avaliaram a influência de quatro sistemas agrícolas (A – milho/feijão com preparo de arado aivecas e grade aradora; B – arroz/feijão com preparo de arado

de aivecas em todos os plantios; C – arroz/calopogônio-feijão com preparo de grade aradora em todos os plantios e D – milho/feijão em plantio direto) nas características físico-químicas de um Latossolo Vermelho distrófico. Nos sistemas C e D houve concentração considerável de nutrientes (P, K e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) no perfil do solo. As características físicas foram avaliadas por meio do DMP – diâmetro médio ponderado dos agregados por via úmida, cujos maiores valores foram encontrados nos sistemas C e D, onde houve menor mobilização do solo. O DMP revelou-se um bom parâmetro para retratar a condição de agregação sob variadas práticas de manejo.

Silva e Mielniczuk (1997) estudaram a estabilidade dos agregados em um Latossolo Vermelho e em um Argissolo, ambos com textura argilosa, comparando-os sob cultivo convencional (trigo/soja/setária), sob semeadura direta (aveia/milho) e em área arada sem cultura. Verificaram grande influência do sistema radicular dessas diferentes culturas na estabilização de agregados, sendo as que mais contribuíram foram as gramíneas, pela alta densidade de raízes.

Paladini e Mielniczuk (1991) avaliaram nove diferentes manejos com culturas e um campo nativo, tendo encontrado boa correlação entre agregados maiores que 2,00 mm e carbono orgânico nos cultivos com pangola e em campo nativo, comprovando a importância dos compostos orgânicos na estabilização dos agregados.

As mudanças nesses ecossistemas ocorrem devido à relação estreita entre o solo e a vegetação, sendo que o primeiro provoca influência na comunidade vegetal e a segunda, reciprocamente, influi nas propriedades do solo, contribuindo fortemente para o suprimento de matéria orgânica, estruturação, retenção de cátions, suprimento de nutrientes, aeração e comportamento hídrico. Essas mudanças, quando associadas às práticas de manejo, acarretam alterações na biodiversidade, de modo a dificultar sua reutilização e/ou conservação (LONGO et al., 1999).

2.6 O uso do lodo de esgoto na recuperação da estrutura de solos degradados

A utilização dos resíduos urbanos vem ao encontro da atual necessidade de manutenção da qualidade do ambiente, incluindo a reutilização, reciclagem e reprocessamento de materiais tradicionalmente tidos como lixo. Para tanto, são necessárias, inicialmente, mudanças

conceituais dos rejeitos (lixos) produzidos pelas atividades humanas que, em sua maioria, podem tornar-se recursos em vias de recuperação.

O lodo de esgoto é o resíduo que se obtém após o tratamento das águas servidas (esgotos), com a finalidade de torná-lo apropriado à deposição no solo sem que se torne agente de poluição. Quando o lodo é devidamente higienizado, estabilizado e seco ele chega a ser referido por biossólido (MELO e MARQUES, 2000).

A atividade humana contribui constantemente para a geração de resíduos, tanto a partir de seu metabolismo, como das atividades que desenvolve, a exemplo da produção industrial, que pode produzir resíduos altamente poluentes. Assim, as águas servidas ou esgotos devem ser tratados a fim de que agentes patógenos sejam removidos e que não possam causar danos ao ambiente. A utilização do lodo tratado significa incorporação de matéria orgânica, nitrogênio e micronutrientes, essenciais à nutrição de plantas (BERTIOL e CAMARGO, 2000).

Em Curitiba, PR, cuja produção de lodo é de 80 t/dia, está sendo desenvolvido um sistema de tratamento de esgotos visando à eliminação de microrganismos patogênicos, para que o resíduo seja utilizado como fertilizante de solos. A parte orgânica do lodo pode aumentar o conteúdo de húmus, melhorando a capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, contribuindo para o reequilíbrio do conteúdo mineral e aumentando o potencial de produção dos solos (ADREOLI et al., 1999).

Em se tratando das estações de tratamento de esgoto doméstico (biossólidos), é cada vez maior o empenho em se desenvolver técnicas apuradas de qualidade dos resíduos, não havendo, assim, restrições quanto à sua crescente utilização no cultivo de produtos alimentícios. Na área com substrato degradado acrescido de lodo deste trabalho, Colodro (2005) constatou que tal resíduo possui baixo nível de toxidade, o que se deve, possivelmente, à sua origem doméstica.

Em áreas degradadas que sofreram remoção do horizonte superficial do solo (em geral o mais rico em nutrientes e matéria orgânica), a aplicação de lodo, com altos conteúdos de componentes orgânicos, é de efeito positivo sobre a fertilidade do solo, além de diminuir, indiretamente, a erodibilidade do solo, pois condiciona favoravelmente suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

É grande a quantidade de biossólidos produzidos no tratamento de esgotos urbanos, o que ocorre devido ao aumento da população nesses centros, criando limitações técnicas e econômicas

para sua disposição final. Desse modo, a utilização do lodo como fonte de matéria orgânica e nutriente torna-se uma solução viável a seu crescente aumento.

De acordo com Corrêa & Melo Filho (1998), o lodo de esgoto possui nove vezes mais nitrogênio e catorze vezes mais fósforo do que compostos de lixo, sendo eles essenciais para o desenvolvimento de plantas. O lodo proporciona aumento de porosidade, maior retenção e disponibilidade de água para as plantas, aumento da biodiversidade bacteriana dos substratos e redução da lixiviação, constituindo adequada aplicação de matéria orgânica para a revegetação de áreas degradadas. Cada tonelada de lodo de esgoto aplicada pode fornecer 150 kg de matéria seca, cerca de 700 g de nitrogênio, 1.500 g de fósforo, 2.500 g de cálcio, 7.500 g de magnésio e pequenas quantidades de alumínio, ferro, manganês e zinco. Os teores de macro e micronutrientes do lodo não possibilitam, entretanto, classificá-lo como adubo químico.

Em um Latossolo Vermelho eutroférico textura argilosa cultivado com milho, estudou-se o efeito da aplicação do lodo de esgoto durante dois anos agrícolas, tendo o mesmo revelado vantagens com sua aplicação, pois ele o lodo disponibilizou níveis de P semelhantes aos dos tratamentos sem o resíduo, mas com aplicação de adubo químico (GALDOS et al., 2004).

O aproveitamento dos biossólidos deve levar em conta a eventual presença de metais pesados que possam ser absorvidos. Nascimento et al. (2004) averiguaram a quantidade dos mesmos em solos com cultivo de milho e feijoeiro. Além da diminuição do pH e aumento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio, constataram que os metais zinco, cobre, manganês, ferro e chumbo no lodo, no solo e nas plantas estavam abaixo dos limites estabelecidos para sua utilização.

Barbosa (2002) aplicou adubação orgânica com lodo esgoto em doses crescentes (6, 12, e 18 t.ha⁻¹) em bases secas e complementações minerais para um Latossolo Vermelho eutroférico. Os resultados mostraram aumento na agregação do solo e macroporosidade e redução na densidade do solo e microporosidade. A densidade de partículas e a condutividade hidráulica aumentaram nos tratamentos que receberam 36 t.ha⁻¹/ano e 18 t.ha⁻¹/ano de lodo. Constataram ainda que a umidade e as altas temperaturas favoreceram a degradação acelerada da matéria orgânica.

A aplicação de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso nas dosagens de 0,40 e 80 t/ha provocou aumento de agregados de diâmetros superiores a 1mm.

Quando aplicado de uma só vez, proporcionou a formação de macroporos e aumento dos microporos (JORGE et al., 1991).

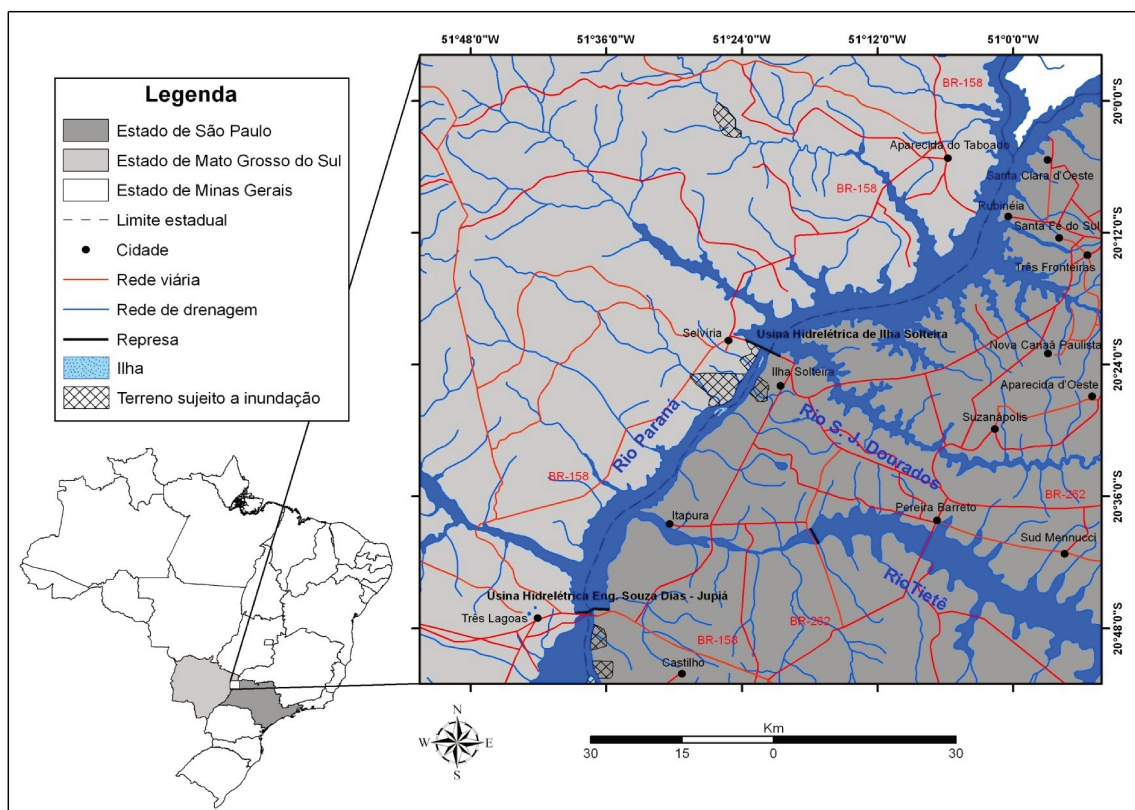
Ferreira et al. (2001) estabeleceram comparação do efeito do lodo de esgoto e da adubação química no fornecimento de fósforo numa rotação aveia-milho em um Nitossolo distroférico, no período de 1997 e 1999. Foram realizados cinco tratamentos com três repetições em cultura de rotação (Aveia – Milho – Aveia – Milho). Quando o lodo não atendia às necessidades da cultura, aplicava-se adubação química, pois a mineralização do fósforo do lodo, disponível as plantas, é lenta. Observou-se que o teor de fósforo aumentou à medida que se introduziu o lodo com adubação química, demonstrando resultados da eficácia do material em disponibilizar fósforo, agindo como se fosse fertilizante fosfatado.

Em um Cambissolo álico de textura argilosa, Castro (2002) estabeleceu parcelas experimentais com aveia e milho subdivididas: A1 – testemunha (sem adubação); A2 – adubação mineral; A3 – adubação orgânica com lodo de esgoto mais complementação mineral; D1 – testemunha (sem a retirada superficial do solo); D2 – retirada de 15 cm do perfil do solo; D3 – retirada de 30 cm do perfil do solo. Verificou maior produção de matéria seca de aveia e milho com a aplicação do lodo de esgoto, com variações nos valores do pH nas condições de A e D; aumentos nos teores de Ca e Mg e P foram ainda constatados com a aplicação do lodo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

Os trabalhos realizaram-se na Fazenda de Ensino e Pesquisa – FEP, Seção de Produção Animal, da Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Ilha Solteira, SP, no município de Selvíria, MS, ao lado da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP (51°22' de Longitude Oeste de Greenwich e 20°22' de Latitude Sul, a altitude é de 355 metros). As Figuras 2 e 3 ilustram a região de trabalho.

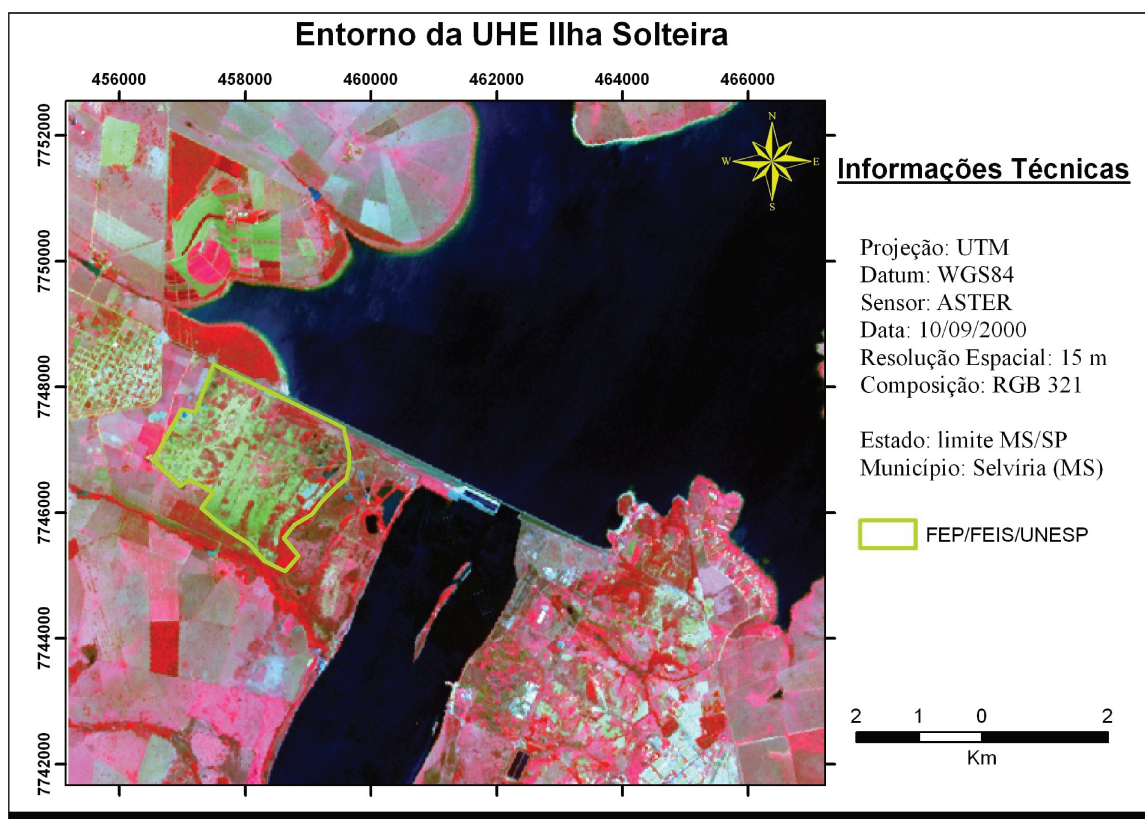


IG - Instituto de Geociências/UNICAMP – LAPIG – Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas

Figura 3.2 Localização da área de estudo e seu entorno.

O município de Ilha Solteira está localizado a Noroeste do Estado de São Paulo, na posição mais estratégica da Hidrovia Tiête-Paraná, sendo cortado pelo Rio São José dos Dourados, que está ligado ao canal de Pereira Barreto, e ao Rio Tietê, ambos desaguando no Rio Paraná, conferindo a essa região um aspecto de ilha gigantesca.

Como já mencionado, chama a atenção o fato de a área de estudo possuir uma gleba degradada por retirada de espessas camadas do solo, aproximadamente 8 metros, por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, iniciada em 1967, caracterizando uma área de empréstimo que, na imagem de satélite (Figura 3.3), é representada pela alta reflexão da cor verde, proveniente do solo descoberto.



IG – Instituto de Geociências/UNICAMP – LAPIG – Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas

Figura 3.3 Localização da Fazenda de Ensino e Pesquisa (UNESP).

Esta área é constituída por aproximadamente 700 hectares de uma cobertura vegetal fraca, com o substrato compactado e ainda com possível contribuição de resíduos de erosão eólica (COLODRO, 2005).

Demattê (1980) publicou uma série de dados meteorológicos obtidos de bases regionais num período de onze anos (1967-1978). Mencionou uma temperatura média anual de 23,7°C, sendo a média dos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) de 25,7°C, e a dos meses mais frios (junho e julho) de 20,6°C. Segundo a base de Dados Agroclimatológicos do entorno da FEIS/UNESP (UNESP, 2005), portanto, área de abrangência da área de estudo, a precipitação média anual é de 1.300 mm, e as chuvas concentram-se de outubro a março, sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro constituem o trimestre mais chuvoso; o trimestre mais seco corresponde aos meses de junho, julho e agosto (média de 27 mm); a umidade relativa média dos meses chuvosos e mais secos é, respectivamente, 60-80% e 50-60%. O clima classificado de acordo com Köppen (1936) é Aw, tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

A vegetação natural que predominava na área era o cerrado, que são formações não florestais de fisionomia peculiar, pouco densas, caracterizadas por apresentarem indivíduos de porte atrofiado, de troncos retorcidos, cobertos por casca espessa e fendilhada, de engalhamento baixo e copas assimétricas, folhas na maioria grandes (algumas coriáceas), de caule e ramos encortiçados. Comportam, principalmente, um extrato herbáceo rasteiro (predominantemente graminóide) e um extrato arbustivo-arbóreo com até 8 metros de altura (Demattê, 1980).

3.2 Condições de uso e manejo dos solos estudados

A unidade de solo Latossolo Vermelho abriga os tratamentos Substrato Degradado (Figura 3.4), Substrato Degradado+Lodo+Eucalipto (Figura 3.5) e Substrato Regenerado com Capoeira (Figura 3.6), enquanto o Latossolo Amarelo abriga o Solo com Pasto (Figura 3.7) e o Solo sob Cerrado (Figura 3.8).

A área degradada (Figura 3.4), utilizada como área de empréstimo, tem permanecido exposta há 35 anos, desde o início da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP). A partir da integração dessa área degradada à Fazenda Experimental de Ensino e Pesquisa da

UNESP, experimentos têm sido realizados com o intuito de melhorar seu substrato, para se conseguir sua revegetação. Uma parcela já fora tratada com lodo de esgoto e revegetada com eucalipto, que foi aqui também amostrada (COLODRO, 2005). Os excelentes resultados aí obtidos levaram a Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola a premiar esse trabalho de tese de doutoramento.

Nas Figuras de 3.4 a 3.8 são ilustradas as condições estabelecidas como tratamentos para o presente trabalho.



Autor: Colodro (2003)

Figura 3.4 Aspecto geral da área degradada



Autor: Colodro (2003)

Figura 3.5 Área degradada em processo de recuperação



Autora: Carvalho (2004)

Figura 3.6 Aspecto geral da área regenerada naturalmente



Autora: Carvalho (2004)

Figura 3.7 Solo com pastagem de gramíneas



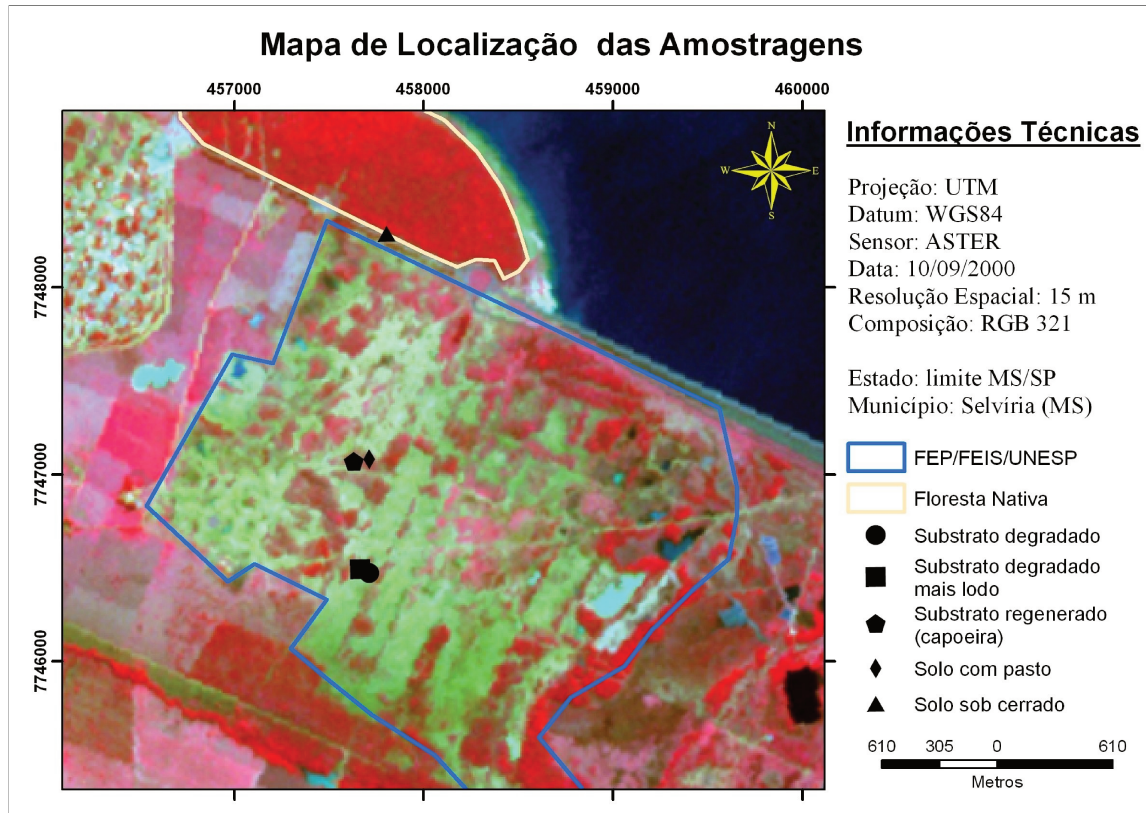
Autora: Carvalho (2004)

Figura 3.8 Aspecto geral do Cerrado

O substrato regenerado (Figura 3.6), foi assim designado pelo fato de não terem sido retiradas camadas tão profundas de seu solo, como ocorreu no substrato degradado, o que lhe deu condições de sustentar uma vegetação (Capoeira), mesmo que menos densa que a cobertura original (Cerrado).

A área de pastagem com braquiária (*Brachiaria decumbes*) da Fazenda Experimental amostrada (Figura 3.7) foi implantada há cerca de 20 anos, não tendo recebido, durante todo esse tempo, qualquer insumo para melhoria. As áreas mencionadas, até então, foram resultado de modificações impressas em seus solos originais, que anteriormente sustentavam uma vegetação de cerrado (Figura 3.8). Dessa forma, o solo de cerrado representa a possibilidade de uma avaliação das modificações ocorridas a partir dos usos e manejos aplicados.

Foram estudados, portanto, 5 distintos usos do solo, representados na Figura 3.9, cuja base cartográfica (imagem de satélite) possui baixa resolução espacial, representando, de forma equivocada, uma situação de grande proximidade entre alguns locais de coleta na área de pesquisa, tal como é o caso entre o substrato regenerado com capoeira e o solo com pastagem.



IG – Instituto de Geociências/UNICAMP – LAPIG – Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas

Figura 3.9 Disposição dos experimentos na FEP/FEIS/UNESP, em Selvíria/MS.

3.2.1 Amostragem dos experimentos

Objetivando, num primeiro momento, um reconhecimento da área e, posteriormente, localizar as áreas nas quais foram feitas as coletas, utilizou-se a imagem de satélite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), cuja resolução é de 15 m, sendo ela imageada em 10/09/2000; seu Datum é WGS 84 e projeção UTM; a composição das bandas espectrais foi R (vermelho) – 3, G (verde) – 2 e B (azul) – 1, feita no programa ENVI 4.0, tendo o SIG sido gerado no ArcGis 9.0. Nessa imagem, por meio de coordenadas geográficas estabelecidas por GPS, foram demarcados os pontos referentes às cinco áreas de coletas na Fazenda Experimental;

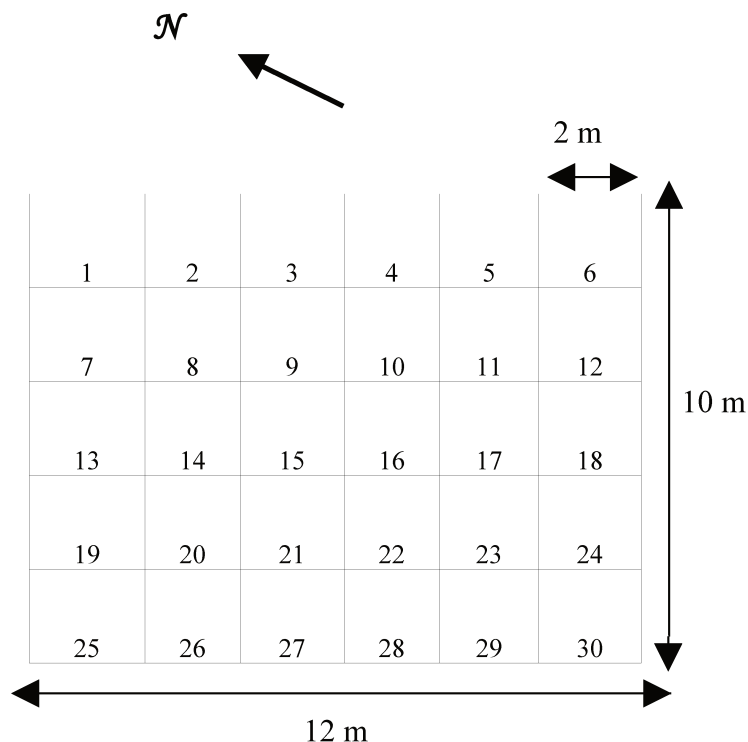


Figura 3.10 Amostragem para estabilidade dos agregados e anéis volumétricos

De acordo com o croqui mostrado na Figura 3.10, as parcelas experimentais foram demarcadas com base nas dimensões das do experimento com aplicação de lodo, já existente, em parcelas com 120 m². Essas parcelas foram amostradas segundo uma grade retangular com 30 pontos por tratamento, com distanciamento de 2 metros entre si, para a coleta de amostras para a análise da estabilidade dos agregados e anéis volumétricos, em todos os tratamentos. Nas demais análises (granulométrica, química e biológica) o número de amostras foi inferior, a fim de compatibilizar a realização da pesquisa com o recurso financeiro disponível.

3.3 *Determinações físicas, químicas e microbiológicas dos solos*

As análises físicas (granulometria, curva de retenção de água no solo, densidade do solo, porosidades, estabilidade de agregados por agitação em água e sob chuva simulada) foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo em Campinas (SP).

As análises microbiológicas (quantificação de microrganismos, carbono da biomassa microbiana, análise da atividade microbiana) foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico.

As análises de fertilidade do solo (complexo sortivo) foram realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da FEIS/UNESP de Ilha Solteira, SP.

3.3.1 Granulometria

Em levantamento detalhado da área da “Fazenda de Ensino e Pesquisa da FEIS/UNESP/Ilha Solteira”, os solos encontrados na área de estudo foram descritos e classificados por Demattê (1980), cujas correspondências com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) estão representadas no Quadro 3.1.

Os Latossolos são solos minerais com horizonte diagnóstico B latossólico de subsuperfície. O Latossolo Vermelho possui matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. Os Latossolos Amarelos possuem matiz mais amarelo que 5 YR nos seus primeiros 100 cm de horizonte B (EMBRAPA, 1999).

Quadro 1. Classificação dos solos do Campus Experimental da UNESP de Ilha Solteira/SP.

Demattê (1980)	EMBRAPA (1999)
Latossolo Vermelho - Escuro, álico, textura média	Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, A moderado, hipodistrófico, álico, caulinitico, hipoférrico, muito profundo, fortemente ácido
Latossolo Vermelho - Amarelo, textura média	Latossolo Amarelo distrófico típico, textura média, A moderado, hipodistrófico, álico, muito profundo, fortemente ácido

De acordo com Demattê (1980), o Latossolo Vermelho da área, por ser distrófico, tem fertilidade natural baixa (saturação por bases menor ou igual 50 %); textura média (20-30 % argila); rico em sesquióxidos; muito poroso; profundo; bastante permeável; acentuadamente drenado; baixo teor de matéria orgânica; baixa atividade da argila (baixos valores de CTC),

toxidez por alumínio; deficiência de nutrientes (principalmente fósforo). Ocorre sob relevo plano a suavemente ondulado (favorecendo a mecanização).

O Latossolo Amarelo distrófico tem as mesmas características anteriores, exceto pelos teores mais baixos de oxi-hidróxidos de ferro e pela classificação textural obtida na análise granulométrica realizada no presente estudo, que se revelou como franco-arenosa.

Neste trabalho, a determinação da granulometria foi feita a partir de uma amostra superficial composta (0 a 20 cm) dos 30 pontos amostrados por tratamento. O material analisado foi a terra fina seca ao ar (TFSA), obtida do destorroamento e peneiramento rotativo a seco, e que não ficou retido na malha de 2,00 mm. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Argila (A), Silte (S), Areia Grossa (AG), Areia Fina (AF) e Areia Total (AT), das amostras coletadas de 0 a 0,20 m.

Tratamentos	Granulometria (g kg ⁻¹)					Classificação textural
	A	S	AG	AF	AT	
Substrato degradado	221	28	405	346	751	Franco-argilo-arenosa
Substrato degradado+lodo+eucalipto	225	39	360	376	736	Franco-argilo-arenosa
Solo com capoeira	216	43	338	403	741	Franco-argilo-arenosa
Solo com pastagem	221	34	458	286	744	Franco-argilo-arenosa
Solo com cerrado	177	39	408	376	784	Franco arenosa

O método utilizado na determinação da argila total foi o da pipeta, conforme descrito em Camargo et al. (1986), usando como dispersante uma mistura de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio. A suspensão obtida foi transferida para uma proveta calibrada de 500 ml e passada por uma peneira com malha de 0,053 mm, completando o volume com água destilada. O material retido na peneira foi lavado, levado à estufa para secagem a 105-110°C e pesado, correspondendo à areia total. Na suspensão do solo foi determinada a quantidade de argila, e o silte foi determinado por diferença. A areia foi fracionada ainda, por peneiramento, em grossa e fina (MEDINA, 1972).

Demattê (1980) generalizou, para os mesmos solos estudados (Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo), a designação textura média. Os valores apresentados na Tabela 3.1 confirmam, para o Latossolo Vermelho distrófico, a textura franco-argilo-arenosa, que contém os

tratamentos com substrato degradado, substrato degradado+lodo+eucalipto e solo regenerado com capoeira; no Latossolo Amarelo distrófico típico a classe textural apresentou-se como franco-argilo-arenosa no solo com pastagem e franco-arenosa na área correspondente ao solo sob cerrado.

3.3.2 Densidade e Porosidade do Solo

Para a determinação da densidade global e porosidade do solo foram coletadas amostras indeformadas com anel volumétrico de 100 cm³, com amostragem em grade de 30 pontos por tratamento, na profundidade de 0,05 m. As amostras foram retiradas com o cuidado de não compactar o solo na extremidade do batedor, sendo levadas à estufa a 105°C, até peso constante, sendo pesadas em seguida..

A relação entre a massa seca e o volume do anel fornece o valor da densidade global, que considera o volume de sólidos mais o volume total de poros.

A microporosidade foi determinada com os mesmos anéis volumétricos de 100 cm³ submetidos à tensão de 6 kPa. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

3.3.3 Estabilidade dos agregados por agitação em água e sob chuva simulada

As amostras foram retiradas dos horizontes superficiais, até 0,02 m de profundidade, de cada tratamento, procurando preservar, ao máximo, sua estrutura, a fim de se constatar o estado de agregação do solo em cada situação-problema. Também neste caso foram amostrados 30 pontos em grade retangular.

Inicialmente, elas foram passadas em um jogo de peneiras instaladas em um agitador mecânico, com malhas de 9,52 mm, 4,00 mm e 2,00 mm, durante 10 minutos, com rotação máxima do agitador. Reservou-se a fração menor que 2,00 mm (TFSA) para análise da granulometria.

A determinação da umidade das amostras foi efetuada com agregados da classe de 9,52 a 4,00 mm, em duplicatas, em 25 g; em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 105-110°C. Após peso constante, normalmente após 48 horas, obteve-se a massa seca.

Efetuuou-se a análise da estabilidade dos agregados por via úmida utilizando-se o método de Kemper e Chepil (1965), descrito em CAMARGO et al., (1986).

Foram tomados 25 gramas de agregados da classe 9,52 – 4,00 mm de diâmetro, pré-umedecidos com água, durante 10 minutos, lentamente, pelas bordas, com uma pisseta. Em seguida, efetuou-se o peneiramento úmido por agitação, com 3 repetições por ponto coletado, durante 10 minutos em cilindros de PVC com água, com aberturas das peneiras de 7,93 mm, 6,35 mm, 4,00 mm, 2,00 mm, 1,00 mm e 0,50 mm.

Os agregados depositados em cada peneira foram transferidos para copos, com auxílio de pisseta, e postos a secar em estufa, a 105-110 °C até peso constante. Os copos mais agregados foram pesados e esses valores registrados como T+A (tara + amostra).

Nos três primeiros copos, correspondentes às peneiras de 7,93 mm, 6,35 mm e 4,00 mm de abertura de malha, os agregados foram umedecidos e, em seguida, desfeitos com bastonete de ponta de borracha. O material resultante deste processo foi posteriormente passado na peneira previamente utilizada e, quando nela retido, foi considerado “pedra” e pesado da mesma forma que a anterior e registrado como T+P (tara + pedra).

O estado de agregação das amostras foi determinado pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e pela porcentagem de agregados estáveis em água nas diferentes classes mencionadas anteriormente. O DMP é expresso pela fórmula:

$$DMP = \sum_{i=1}^6 (xi * wi)$$

wi = proporção de cada classe em relação ao total

xi = diâmetro médio das classes de agregados

n = número de classes de agregados

A ação do gotejamento pela chuva pode ser considerada o principal agente de rompimento e subsequente transporte de partículas do solo. Dessa forma, um método de medida da estabilidade de agregados a partir da comparação de sua resposta ao gotejamento mostra-se eficaz, pois proporciona três diferentes aspectos sobre a erodibilidade do solo: (a) resistência ao rompimento pelo efeito *splash*, (b) capacidade de transporte das partículas resultantes do rompimento e (c) facilidade ao selamento da superfície do solo pelas partículas dispersas (MEESTER e JUNGRIUS, 1978). Para isso, há que se recorrer a um gotejador ou simulador de chuva.

A estrutura do simulador de chuva utilizado, do Instituto Agrônomo, em Campinas, consiste em uma torre de alumínio de 3 m de altura, sustentando uma caixa de PVC (com área de 0,64 m²) contendo 1296 unidades formadoras de gotas (tubinhos de polietileno com diâmetro interno menor ou igual 1 mm, nos quais foram inseridos pequenos pedaços de fio de alumínio, a fim de regular a vazão); outra caixa de aço inox produz a carga hidráulica necessária para mantê-la com gotejamento constante (princípio de Boyle-Mariotte). Abaixo da unidade formadora de gotas há uma chapa de alumínio que serve para recolher a chuva antes da medição e durante a calibração do aparelho (Figura 3.11). Uma descrição completa do equipamento e sua forma de utilização pode ser encontrada em Roth (1985).



Autora: Carvalho (2005)

Figura 3.11 Simulador de chuva modelo *Goettingen*

A calibração da intensidade de chuva é feita mediante-se a determinação da água recolhida no fim da mangueira que vai da chapa até o chão, medindo o vazamento em função do tempo. Observou-se que, em função de variações na temperatura ao longo do dia, a caixa de inox aquece, fazendo a precipitação variar, necessitando de reajustes constantes na carga hidráulica para que sejam uniformes as repetições das análises dos agregados amostrados. Trabalhou-se com uma precipitação média de 60 mm/hora, que equivale a cerca de 60 litros de precipitação por metro quadrado. Esse valor foi estipulado considerando-se que, neste caso, a área era de 0,64 m² da unidade formadora de gotas. Roth (1985) comprovou, com o emprego de um modelo de simulador como o utilizado no presente trabalho, que a precipitação de 64 mm/hora representava uma energia cinética equivalente a aproximadamente 60-80 % da energia da chuva natural.

No chão, logo abaixo do simulador, coloca-se uma grade retangular de madeira contendo em seu interior subdivisões (pequenos quadrados delimitados por cordões), nos quais se instalam 16 latas de alumínio, que ficam sob o efeito da “chuva”. Em seguida, foram medidos os volumes de água contidos nas mesmas, a fim de se obter sua distribuição na grade, para, então, dispor os agregados sob a ação da chuva simulada. Feito isto, os agregados foram colocados em malhas sob pequenos suportes protegidos com canos de PVC, impedindo que as partículas de solo se perdessem com o efeito *splash* das gotas de água (Figura 3.12). As aberturas das malhas eram de 6,35 mm, 4,0 mm e 2,00 mm.



Figura 3.12 Agregados sob chuva



Figura 3.13 Agregados pós-chuva

Autora: Carvalho (2005)

As quantidades de agregados do solo colocadas na grade foram, aproximadamente, 3 gramas, submetidos a 20 minutos de chuva, e para cada tamanho de malha foram feitas 2 repetições do mesmo ponto amostrado. Em seguida, coletou-se o solo restante em cadinhos de alumínio com auxílio de pisseta (Figura 3.13), sendo levados à estufa, à temperatura de 105-110 °C; após peso constante foram pesados, obtendo-se a quantidade de material que resistiu à chuva simulada.

O percentual de agregados restantes da ação da chuva simulada foi obtido a partir do seguinte cálculo:

$$IA = P.A.D.C. * 100 / P.A.S.A * F$$

I_A – percentual de agregados após chuva simulada

P.A.D.C. – peso do agregado antes da chuva

P.A.S.A. – peso do agregado seco ao ar antes da chuva

F – fator umidade do agregado

3.4 Análise química

Uma análise química de rotina foi efetuada com o objetivo de se compreender a possível influência de certos elementos na estabilidade dos agregados, sem, no entanto, constituir-se no foco do presente trabalho (Tabela 3.2). Desse modo, o pH foi avaliado em solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01M. O fósforo, cálcio, magnésio e potássio foram determinados pelo método de extração com resina trocadora de íons e o alumínio pela solução de SMP.

No campo, 10 pontos foram amostrados por tratamento. A metodologia utilizada baseou-se em Raij et al. (2001), cuja determinação de matéria orgânica consiste em sua oxidação por solução de dicromato de sódio em meio ácido.

Tabela 3.2 Valores médios de fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H) + alumínio (Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V), em função dos tratamentos na profundidade de 0-0,20 m.

Tratamentos	P mg.dm ⁻³	MO mg.dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c /dm ⁻³	Al	SB	CTC	V %
SD	1,20	2,85	4,45	0,38	4,90	1,68	15,60	3,40	6,62	22,18	29,00
SDLE	287,60	10,40	4,88	1,07	17,00	12,80	25,90	1,60	30,87	56,77	53,70
SRC	1,20	11,80	4,44	0,84	4,90	3,40	23,80	5,00	9,14	32,94	27,30
SP	4,10	20,00	4,76	1,25	9,10	8,00	26,50	2,00	18,35	44,85	39,90
SC	5,80	20,50	4,17	1,23	3,70	4,90	41,90	9,70	9,83	51,73	18,90
C.V. (%)	243,14	58,03	7,04	75,56	88,03	74,72	36,58	74,86	76,33	39,02	42,34

SD - Substrato Degradado, SDLE - Substrato degradado+lodo+eucalipto, SRC - Solo regenerado com capoeira, SP - Solo com pastagem e SC - Solo com cerrado.

3.5 *Análise microbiológica*

Foram coletadas 5 amostras compostas, a partir de 30 pontos por tratamento, totalizando 25 amostras nos cinco tratamentos, na profundidade de 0-0,01 m, tendo sido armazenadas em freezer, devido ao fato de a análise não ser efetuada no mesmo dia da coleta. As amostras foram peneiradas em tamis de malha de 2 mm de diâmetro e as determinações microbiológicas executadas no material que menor que 2 mm. As análises estão descritas a seguir:

Quantificação de microrganismos - o método é o da diluição em placas, que utiliza 10 gramas de solo suspensos em 90 ml de água esterilizada; a solução obtida é agitada por 10 minutos e diluída em fator 10, em tubos de ensaio também com água esterilizada. Alíquotas de 0,1 ml das diluições foram dispostas em placas de Petri preparadas com o meio de cultura do microrganismo que se objetiva contar. O meio de Martin foi o utilizado para os fungos e o meio de extrato de solo, para bactérias+actinomicetos. O crescimento dos microrganismos foi observado e contado após a permanência das placas na incubadora a 28 °C; as colônias dos grupos microbianos identificados são denominadas de unidades formadoras de colônias (ufcs).

O *Carbono da biomassa microbiana* foi determinado pelo método da fumigação-extração, com base em Vance et al. (1987), que provoca liberação de CO₂ do solo (organismos mortos), cuja extração é feita por processo químico em amostras fumigadas e não-fumigadas com K₂SO₄ (0,5 M), durante 2 horas de agitação e posteriormente centrifugadas e filtradas. A oxidação do carbono deu-se pela aplicação de K₂Cr₂O₇ e H₂SO₄. A quantidade de carbono da amostra foi obtida por titulação do excesso de dicromato com Fe (NH₄) (SO₄).

O *quociente metabólico* – $q\text{CO}_2$ expressa a quantidade de moléculas de CO₂ necessárias para a incorporação de um carbono à biomassa microbiana. Desse modo, quanto menor esse valor, maior é a eficiência de uma determinada comunidade microbiana em incorporar carbono à própria biomassa.

Na *Análise da atividade microbiana por respirometria* (ALEF, 1998), foram transferidos 100 gramas de solo para frascos vedados e umedecidos com H₂O destilada, num volume correspondente a 60 % da capacidade de retenção do solo. O CO₂ liberado pela respiração reage com NaOH 0,1N, sendo titulado com HCl 1N, cujo indicador foi fenolftaleína, após 4 dias de incubação a 25-28 °C, mantendo-se frascos de controle (branco), sem amostra de solo. O resultado obtido expresso em µg CO₂ g⁻¹ dia foi obtido da diferença entre o volume de HCl consumido pelas amostras e pelo branco.

3.6 Análises estatísticas

Os resultados foram estatisticamente analisados com o programa MINITAB versão 14.20 (2005), a partir de testes de comparação de médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises físicas

Foram aqui considerados análises físicas a porosidade, a densidade e a estabilidade dos agregados.

4.1.1 Macroporosidade, Microporosidade, Porosidade total e Densidade do solo

Os valores de porosidade e densidade são parâmetros que possibilitam inferir relações ar-água, o estado de compactação do solo e as perspectivas de expansão radicular, de grande utilidade para planos de manejo.

Como demonstra a Tabela 4.3, a macroporosidade mais elevada foi encontrada na vegetação nativa (cerrado), seguindo-se a área cujo tratamento foi a do substrato degradado cultivado com eucalipto e no qual se aplicou lodo de esgoto, indicando um restabelecimento pelo menos incipiente das condições estruturais devido à adição de material orgânico, a despeito do curto período desta prática (um ano). Jorge et al. (1991) também observaram aumento na macroporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso com emprego de 40 ou 80 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto, numa única aplicação.

Tabela 4.3. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função dos tratamentos na profundidade de 0-0,5 m.

Tratamentos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total	Densidade do solo
	m ³ .m ⁻³	m ³ .m ⁻³	m ³ .m ⁻³	Mg.m ⁻³
Substrato degradado	0,12 a	0,24 a	0,36 a	1,92 a
Substrato degradado+lodo+eucalipto	0,23 b	0,25 a	0,48 b	1,61 b
Solo com capoeira	0,17 ac	0,27 a	0,44 b	1,65 b
Solo com pastagem	0,19 bc	0,25 a	0,43 b	1,68 b
Solo com cerrado	0,34 d	0,23 a	0,57 c	1,16 c
C.V. (%)	52,10	42,10	24,98	17,27

C.V. – Coeficiente de variação. Médias, seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O valor crítico do volume de macroporos que proporciona um bom desenvolvimento vegetativo é de $0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, segundo Baver (1972) e Greenland (1965). É interessante observar como variam os valores da macroporosidade no substrato degradado ($0,12 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$), que se enquadra no nível crítico mencionado, e a melhoria com a aplicação de lodo no substrato cultivado com eucalipto ($0,23 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$), comprovando a eficácia desse material no restabelecimento de propriedades físicas do solo.

Os solos com pastagem e o com capoeira ainda refletem os efeitos da compactação do solo degradado, com valores de $0,19$ e $0,17 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ respectivamente; embora a vegetação de gramíneas favoreça a porosidade, de acordo com Boni et al.(1995), o pisoteio do gado é um fator que também contribui para a compactação (COURTNEY & TRUDGILL, 1984). O tratamento com substrato degradado, por seu alto grau de adensamento, apresentou o menor valor de macroporosidade ($0,12 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$), de modo semelhante ao obtido por Alves (2001) nessa mesma área ($0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$).

A microporosidade mostrou valores variando de $0,23$ a $0,27 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, não tendo ocorrido distinção estatística entre os tratamentos. Não se encontrou, assim, a esperada diminuição da microporosidade com a magnitude dos esforços praticados em superfície (incorporação de lodo de esgoto), mesmo no solo com vegetação de cerrado, de textura um tanto mais grosseira e com maior aporte de material orgânico.

Para a porosidade total, o solo sob cerrado, com cobertura vegetal mais densa, apresentou o maior valor para esse parâmetro: $0,57 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, a despeito de sua granulometria um pouco mais grosseira. Pode ocorrer que certa quantidade mais elevada de areia possa ter resultado também num arranjo mais espaçado das partículas, dando origem a agregados mais porosos. A condição de porosidade do solo é muito importante para avaliação de outros parâmetro (GROHMANN, 1972), merecendo atenção especial no confronto entre práticas de manejo distintas.

Os tratamentos substrato degradado+lodo+eucalipto ($0,48 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$), solo com capoeira ($0,44 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$) e solo com pastagem ($0,43 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$) apresentaram valores próximos, não diferentes estatisticamente. A área mantida como substrato degradado destacou-se por possuir o menor índice de porosidade total, com $0,36 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, muito distante portanto do valor ideal de porosidade total indicado por Kiehl (1979), de $0,50 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.

Devido ao fato de a densidade ser inversamente proporcional à porosidade, a área com substrato degradado foi a que apresentou o maior valor para densidade dentre os tratamentos ($1,92 \text{ Mg.m}^{-3}$), em razão da retirada de espessa camada de solo seguida de compactação. No substrato degradado cultivado com eucalipto e em que se aplicou lodo, ocorreu diminuição de sua densidade ($1,61 \text{ Mg.m}^{-3}$) e, conseqüentemente, aumento da macroporosidade, de modo semelhante ao observado por Colodro (2005); no entanto, como bem ponderou esse pesquisador, há que se considerar que tal redução pode ter-se dado também em decorrência do efeito mecânico do preparo do solo com a enxada rotativa, somada à ação do resíduo. Em um Latossolo Vermelho com aplicação de lodo de esgoto, Jorge et al. (1991) também obtiveram diminuição da densidade, explicada pela influência do material orgânico, que promoveu agregação, aumentando o volume e diminuindo a densidade. É possível que a continuidade de aplicação de lodo venha a promover mais diminuição da densidade ao longo do tempo (COLODRO, 2005).

Na mesma área degradada do presente estudo, Grego (1996) observou melhoria nos valores de densidade com o plantio de leguminosas, o que contribuiu para trazer o valor de $1,91 \text{ Mg.m}^{-3}$ para $1,60 \text{ Mg.m}^{-3}$.

Exceção feita ao tratamento que sofreu mais intensa degradação (substrato degradado), o solo com pastagem foi o que apresentou o maior valor de densidade, com $1,68 \text{ Mg.m}^{-3}$, o que confirma a ação de pisoteio do gado. A densidade da parcela com vegetação regenerada com capoeira ($1,65 \text{ Mg.m}^{-3}$) foi ligeiramente inferior à do tratamento com pastagem. Trabalhando na mesma área experimental deste trabalho, Souza (2000) encontrou alta densidade no solo com pastagem, em comparação com a de cerrado, que foram, respectivamente, $1,54 \text{ Mg.m}^{-3}$ e $1,23 \text{ Mg.m}^{-3}$.

O menor valor de densidade, dentre os tratamentos estudados, foi encontrado na área de vegetação natural (cerrado), com $1,16 \text{ Mg.m}^{-3}$; além das condições naturais (sem manejo), esta área revelou alta atividade microbiológica, com constante fornecimento de material orgânico em decomposição, proporcionando-lhe uma estrutura granular e porosa, livre de práticas de mobilização, como já haviam atestado os valores elevados de macroporosidade. Tais resultados assemelharam-se aos de Alvarenga et al. (1999), Longo et al. (1999) e Oliveira et al. (2004), que estudaram as influências de diferentes sistemas de manejo em atributos físicos do solo, observando baixos valores de densidade e alta macroporosidade para o sistema cerrado. Desse

modo, a área de cerrado realmente funcionou como uma testemunha das condições do solo natural, em relação aos demais manejos praticados.

Nesses atributos analisados, o maior coeficiente de variação encontrado na comparação entre os tratamentos foi o da macroporosidade, com 52,10 %, revelando a heterogeneidade própria dos diferentes usos do solo. Numa análise por tratamento, a microporosidade apresentou maior coeficiente de variação no solo sob cerrado, com 98,28 % (Anexo 1); essa diferença pode ser explicada por variações existentes em suas condições fitoclimáticas, pois apresenta densa cobertura vegetal, que promove uma constante deposição de material orgânico e uma atividade biológica intensa.

4.1.2 Estabilidade dos agregados sob agitação com água

A análise da estabilidade permitiu conhecer a distribuição dos agregados em suas diferentes classes de tamanho, frente à ação de desagregação da água, o que possibilita inferências a respeito da susceptibilidade do solo à erosão hídrica.

Por se tratarem de usos muito diferenciados, os resultados apresentados na Tabela 4.4 atestam claramente essa condição, certamente em decorrência das modificações da estrutura do solo, assim como também ocorreu com a densidade e a porosidade.

Tabela 4.4. Agregados estáveis sob agitação em água (%) e o diâmetro médio ponderado (DMP), segundo as classes de agregados e tratamentos, na profundidade de 0-20 cm.

Tratamentos	Classes de agregados (mm)							DMP (mm)
	9,52-7,93	7,93-6,35	6,35-4,00	4,00-200	2,00-100	1,00-0,50	< 0,50	
	Agregados (%)							
SD	0,69 a	1,89 a	3,90 a	3,60 a	4,35 a	8,18 a	77,39 a	0,83 a
SDLE	1,90 a	2,55 a	5,28 a	4,81 a	4,47 a	8,03 a	72,95 a	1,08 ab
SRC	0,85 a	2,84 a	8,53 b	11,96 b	13,08 b	12,53 b	50,16 b	1,50 bc
SP	2,37 a	4,50 a	11,84 b	14,53 b	12,25 b	13,84 b	40,66 c	1,97 c
SC	16,45 b	18,38 b	56,61 c	14,18 b	4,46 a	5,73 a	14,19 d	4,70 d
CV, %	189,75	130,47	84,49	64,27	62,54	46,35	49,07	79,84

C.V. – Coeficiente de variação. SD - Substrato degradado; SDLE – Substrato degradado+lodo+eucalipto; SRC – Substrato regenerado com Capoeira; SP - Solo com pastagem; SC - Solo sob cerrado. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Desse modo, os solos que sofreram retiradas de suas camadas (substrato degradado, substrato degradado+lodo+eucalipto e substrato regenerado com capoeira) são constituídos por um grupo diferenciado de agregados, quando comparados aos demais tratamentos, cujos solos não sofreram degradação. As classes de tamanho dos agregados mostram essas diferenças, ainda que, por vezes, com valores ligeiramente distintos.

As classes de agregado de tamanhos maiores (9,52-7,93 mm e 6,35-4,00 mm) são aquelas que proporcionam uma estruturação melhor e que contribuem para um desenvolvimento radicular mais eficiente das culturas. O substrato degradado apresentou valores muito baixos nas classes de maior tamanho, condição típica de solos que sofreram fortes processos de degradação.

Na classe de 9,52-7,93 mm, o tratamento substrato degradado acrescido de lodo e cultivado com eucalipto demonstrou uma pequena melhora percentual de seus agregados (1,90 %), quando comparado ao do substrato degradado sem qualquer melhoramento (0,69 %). Essas melhorias de um tratamento em relação ao outro foram observadas até a classe de 2,00-1,00 mm (Figura 4.14), ainda que de forma pouco expressiva, cujos resultados refletem no coeficiente de variação desses tratamentos, que no substrato acrescido com lodo e cultivado com eucalipto diminuiu pela metade (Anexo 2). O substrato regenerado com capoeira, com 0,85 %, igualou-se estatisticamente aos tratamentos que sofreram retirada de camadas de seus solos.

Como a composição mineralógica dos agregados está diretamente ligada às propriedades químicas dos solos, há que se considerar que os solos estudados são muito intemperizados, apresentando menos de 35 % de argila, com fracos aportes de materiais orgânicos, mesmo para as condições do cerrado, como se caracterizou no item que trata do Material. O pH, a CTC e os teores de bases com baixos valores são fatores que atuam na agregação dos solos, aliados à presença de sesquióxidos, expressivos nos Latossolos. Os teores de argila também afetam sobremaneira a agregação do solo, tendo Azevedo (2004) mencionado que estes componentes constituem-se em poderosos agentes cimentantes, pois ligam as partículas do solo e dão origem a agregados estáveis à ação da água.

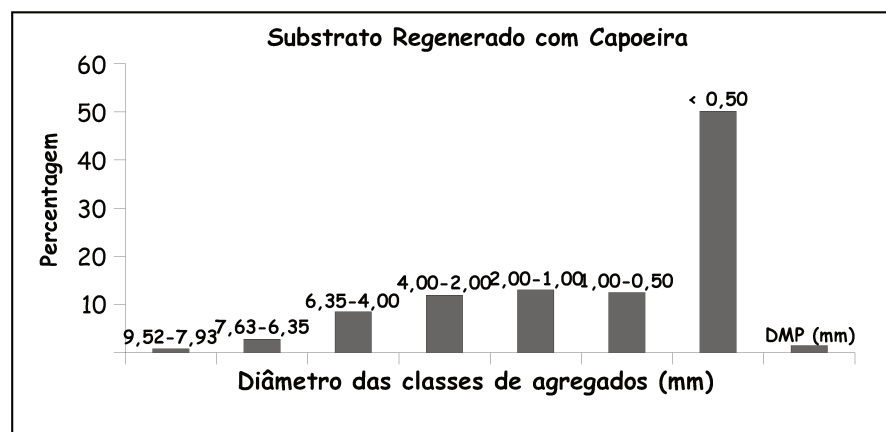
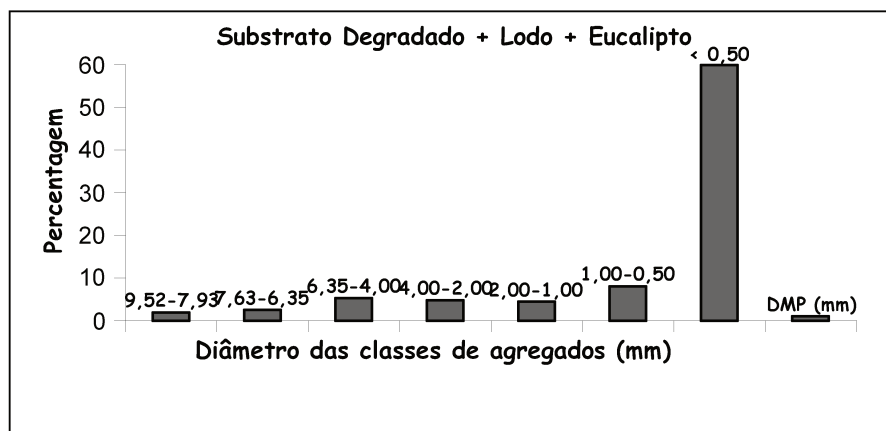
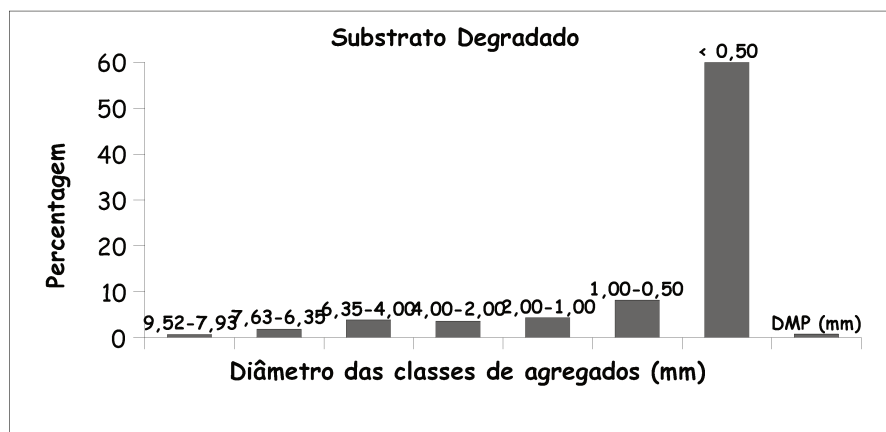


Figura 4.14 Distribuição dos agregados estáveis em água, por tratamento.

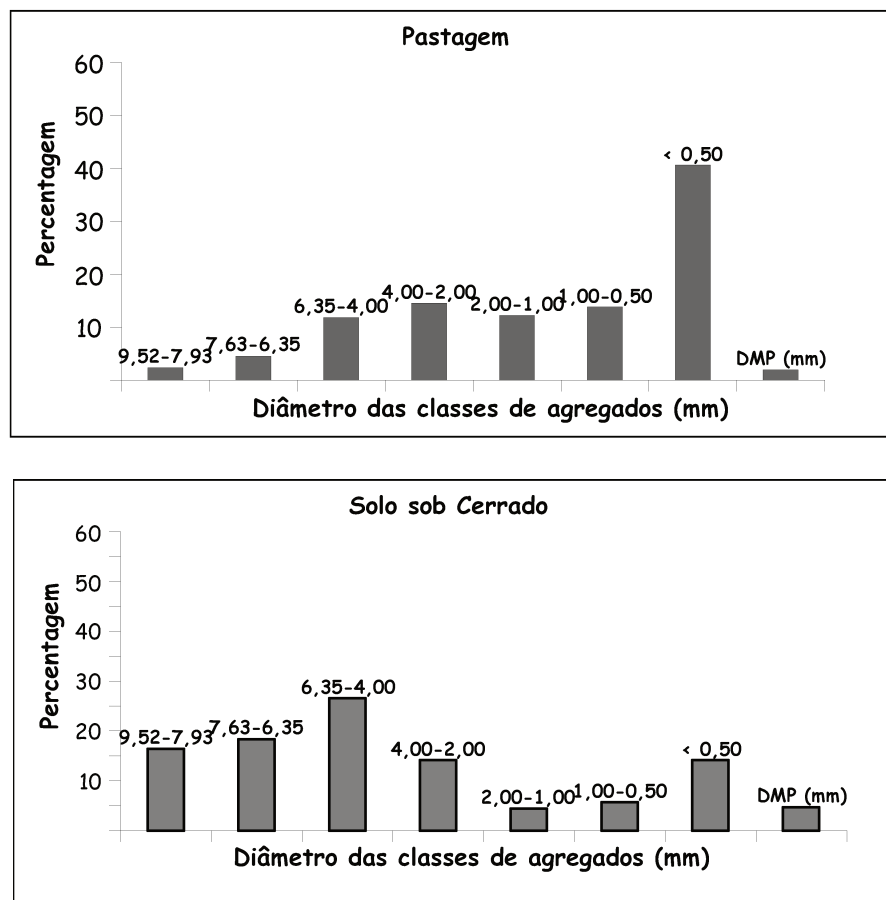


Figura 4.14.1. Distribuição dos agregados estáveis em água, por tratamento (continuação).

Solos com argilas de baixa atividade ou com baixa quantidade de matéria orgânica, em geral com baixa CTC, são mais propensos a deficiências em micronutrientes como zinco, cobre, ferro e manganês (LOPES, 1984). Porém, a CTC pode ser também alta em decorrência das presenças significativas de hidrogênio e alumínio, principais responsáveis pela acidez e por dificultarem a absorção de nutrientes (LEPSCH, 2002), sendo este caso observado também neste trabalho.

Também os agregados do substrato regenerado com capoeira, nas classes de 7,93-6,35 mm até 1,00-0,50 mm, apresentaram valores mais elevados quando comparados aos tratamentos que sofreram uma retirada mais profunda de seus solos (substrato degradado e substrato degradado+lodo+eucalipto). Esse fato está diretamente ligado à já mencionada menor

degradação sofrida por essa área; embora sustentando uma vegetação pouco densa (capoeira), esta ainda permite um certo suprimento do solo quanto ao fornecimento de material orgânico.

O solo com pasto também se mostrou estatisticamente igual aos demais solos degradados, no que se refere aos agregados da classe de tamanho de 9,52-7,93 mm, o mesmo ocorrendo na classe de 7,93-6,35 mm. Longo et al. (1999) verificaram que a compactação provocada pelo pastejo aumenta a densidade, diminuindo o tamanho dos agregados estáveis em água. Nas classes de tamanho de 6,35-400 mm e 4,00-2,00 mm porém, ocorreu aumento da estabilidade dos agregados, diferenciando-o estatisticamente dos demais tratamentos degradados. Na classe de agregados de 2,00-1,00 mm, o substrato regenerado com lodo e cultivado com eucalipto apresentou melhor resultado do que o com pasto, demonstrando como o tipo de uso do solo deste último (compactação pelo pisoteio intensivo do gado) tem influência negativa na estabilidade dos agregados.

De qualquer forma, é inegável a eficiência do material orgânico fornecido pelo sistema radicular das gramíneas que compõem a pastagem. As gramíneas promovem, por intermédio da alta concentração de suas raízes e aproximação das partículas do solo, um adequado material aglutinante, somando ações química e mecânica (KIEHL, 1979). De acordo com Silva e Mielniczuk (1997), as gramíneas, com seu sistema radicular fasciculado e denso, contribuem positivamente para uma agregação estável do solo porque favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, sendo estas plantas utilizadas na recuperação de áreas degradadas. Vale a pena lembrar também que agregados grandes podem ser decorrentes de processos de compactação, associados a altos valores de densidade (BONI et. al., 1995). Assim é, que Mathieu & Pielain (1998) recomendam a determinação adicional de densidade dos torrões, pelo método do querosene, tal como procedido por Fregonezi et. al. (2001), em Latossolo Vermelho Amarelo no leste do Triângulo Mineiro no município de Uberlândia.

Os dados químicos constantes na caracterização do Material (Tabela 3.2) revelam os efeitos positivos decorrentes da adição de lodo ao substrato, elevando, por exemplo, os valores de cálcio e magnésio. Observa-se que, no geral, estes são solos que apresentam baixos valores dos principais elementos nutricionais que proporcionam o bom desenvolvimento de uma cultura, até mesmo para os tratamentos que não sofreram retirada de camadas de seu solo. São solos muito ácidos (pH baixo) e, por isso, pouco férteis. Como observado na análise granulométrica (Tabela

3.1), estes solos são de textura média e com argilas de baixa atividade, que, somadas aos baixos teores de matéria orgânica (colóide), acabam por resultar numa baixa fixação das bases.

As classes de diâmetro maiores (9,52-7,93 mm a 6,35-4,00 mm) foram cerca de 20 vezes superiores no cerrado, por comparação aos valores do substrato degradado. Na classe de 9,52-7,93 mm, o tratamento substrato degradado apresentou 0,69 % de agregação após a agitação em água, enquanto que o solo sob cerrado, 16,45 %, comprovando a boa estruturação com coberturas mais densas (cerrado). A partir da classe 4,00-2,00 mm até $< 0,50$ mm (agregados menores), os valores do cerrado revelam percentuais mais baixos do que os dos demais tratamentos, demonstrando mais claramente a especial atuação do material orgânico na estabilidade dos agregados maiores, mesmo em solos com textura mais leve (maior presença de areia), como ocorre no cerrado.

Nos Latossolos é comum o agregado possuir a forma de pequenos grânulos, bastante estáveis e resistentes. Às vezes, estes agregados são descritos como “pó-de-café”, constituídos por “pseudo-agregados”, ou pseudo-partículas, que são aglutinados de argilas e/ou siltes (ESPINDOLA & GALHEGO, 1981).

Observou-se ainda na classe $< 0,50$ mm, que houve aumento da massa de agregados, simultaneamente à desagregação nas classes de tamanhos maiores. Este comportamento nas classes de menor tamanho, com hierarquização dos tamanhos dos agregados, confirma que a desagregação de agregados maiores produz agregados menores (AZEVEDO, 2004).

Dentre os tratamentos que sofreram a retirada de camadas de seus solos, o substrato com lodo destacou-se por um ligeiro restabelecimento de sua estrutura, tomando os dados absolutos, uma vez que estatisticamente foi igual à do substrato degradado sem qualquer melhoramento. Maior eficiência poderá ser observada se outras aplicações futuras deste material orgânico forem implementadas. Galdos et al. (2004) observaram um significativo aumento no percentual de matéria orgânica com a incorporação de lodo em um Latossolo Vermelho eutroférico. Barbosa (2002), quando utilizou lodo de esgoto, verificou tendência à formação de agregados maiores. Com a mesma técnica, Jorge et al. (1991) encontraram efeito positivo na estabilidade dos agregados maiores que 4, 4-2 e 2-1 mm, embora os menores que 0,25 mm houvessem diminuído.

O fato de o lodo ser um material orgânico em estado amorfo, sua superfície coloidal é muito maior do que a de um material orgânico num estágio menos avançado de decomposição,

ou até mesmo de certas argilas (LOPES e GUIDOLIM, 1989), o que, de certa forma, explica o baixo valor encontrado no solo sob cerrado, mesmo sendo o solo com mais densa cobertura vegetal.

Com a distribuição percentual dos agregados nas diferentes classes de diâmetro, calculou-se a razão entre a quantidade de material retido em cada peneira e a quantidade total de amostra de solo, expressando-a em termos de diâmetro médio ponderado (DMP), conforme descrito por Kemper & Chepil (1965). Não há números absolutos para interpretar os resultados da análise de agregados, mas no geral, a baixa estabilidade está ligada ao índice de DMP menor que 0,5 mm, acima do qual o índice de agregação é tido como resistente ao esboroamento e à dispersão (KIEHL, 1979).

Desse modo, poderiam ter sido considerados apenas os DMP's destes experimentos, visto que expressam o índice de agregação de cada tratamento, porém, a análise por classes de tamanho permitiu constatar em qual classe ocorreram os valores mais requeridos. Assim, o solo sob cerrado foi o que apresentou o mais elevado DMP, condizente com os maiores valores nas classes de maior tamanho. Os agregados desta classe possuem as condições mais adequadas para o desenvolvimento da vegetação, pela sua maior capacidade de conservar a estrutura quando submetido à ação hídrica.

Os Diâmetros Médios Ponderados (Figuras 4.14 e 4.14.1) revelaram-se diretamente proporcionais ao grau de degradação ao qual foi submetido cada tratamento, com a seguinte ordem de valores: o solo sob cerrado (4,70 mm) foi estatisticamente diferente do de outras áreas; o solo com pastagem (1,97 mm) também diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, mas não do tratamento solo regenerado com capoeira; o solo com capoeira (1,50 mm) foi estatisticamente igual ao do substrato degradado mais lodo cultivado com eucalipto e ao solo com pastagem; o substrato degradado mais lodo e cultivado com eucalipto (1,08 mm) não diferiu estatisticamente do substrato degradado e nem do substrato degradado mais lodo cultivado com eucalipto; o substrato degradado (0,83 mm) não diferiu estatisticamente do substrato degradado mais lodo cultivado com eucalipto, mas apresentou o menor valor de DMP de todos os tratamentos.

Com os dados de DMP, reafirma-se que a maior percentagem de agregados grandes, nas classes de tamanhos de 9,52-7,93 mm a 6,35-4,00 mm, ocorreu no tratamento do solo com cerrado, seguido das demais áreas com alguma cobertura vegetal (pastagem e capoeira). Nos tratamentos com solo sem vegetação ou semi-descoberto, aumentaram os agregados na classe $< 0,50$ mm, em função da destruição dos agregados maiores, pelas práticas de manejo.

Uma tentativa de estabelecimento da influência dos atributos químicos do solo na estabilidade dos agregados foi efetuada a partir do gráfico de dispersão (Figura 4.15), não se tendo encontrado, todavia, relação positiva ou negativa significativa entre os tratamentos analisados, exceto no substrato degradado acrescido de lodo e cultivado com eucalipto, cujas relações apresentadas foram positivas; dessa maneira, serão mencionados apenas os resultados deste tratamento.

O DMP e o elemento fósforo do substrato cultivado com eucalipto mais lodo apresentaram relação significativa (0,78); apesar de os dois parâmetros relacionados terem aumentado na mesma proporção, tal fato deve ter sido devido à ação do poderoso colóide orgânico, superior ao dos demais tratamentos.

O DMP e a matéria orgânica também apresentaram boa correlação ($R^2 = 0,73$) no tratamento com lodo. Os dados demonstraram, em princípio, uma boa incorporação dos nutrientes presentes no composto orgânico do lodo em profundidades superficiais, haja vista que a amostragem foi feita de 0-20 cm de profundidade. Esta constatação acaba por subsidiar um questionamento referente à real necessidade de revolver os solos do cerrado para que haja uma eficaz incorporação de adubos e corretivos (OLIVEIRA et al., 2004).

Os valores de cálcio e magnésio apresentaram, respectivamente, relação de 0,84 e 0,78 com o DMP; ambos os elementos, na forma de íons, são atraídos pelo material amorfo do lodo, que possui superfície coloidal maior do que outro material orgânico em decomposição, como pode ser o caso da serapilheira do cerrado, cujas diferenças encontradas na sua composição podem determinar o ritmo de sua decomposição.

A soma de bases revelou boa correlação com o DMP, com R^2 igual a 0,88, assim como a capacidade de troca catiônica (0,86).

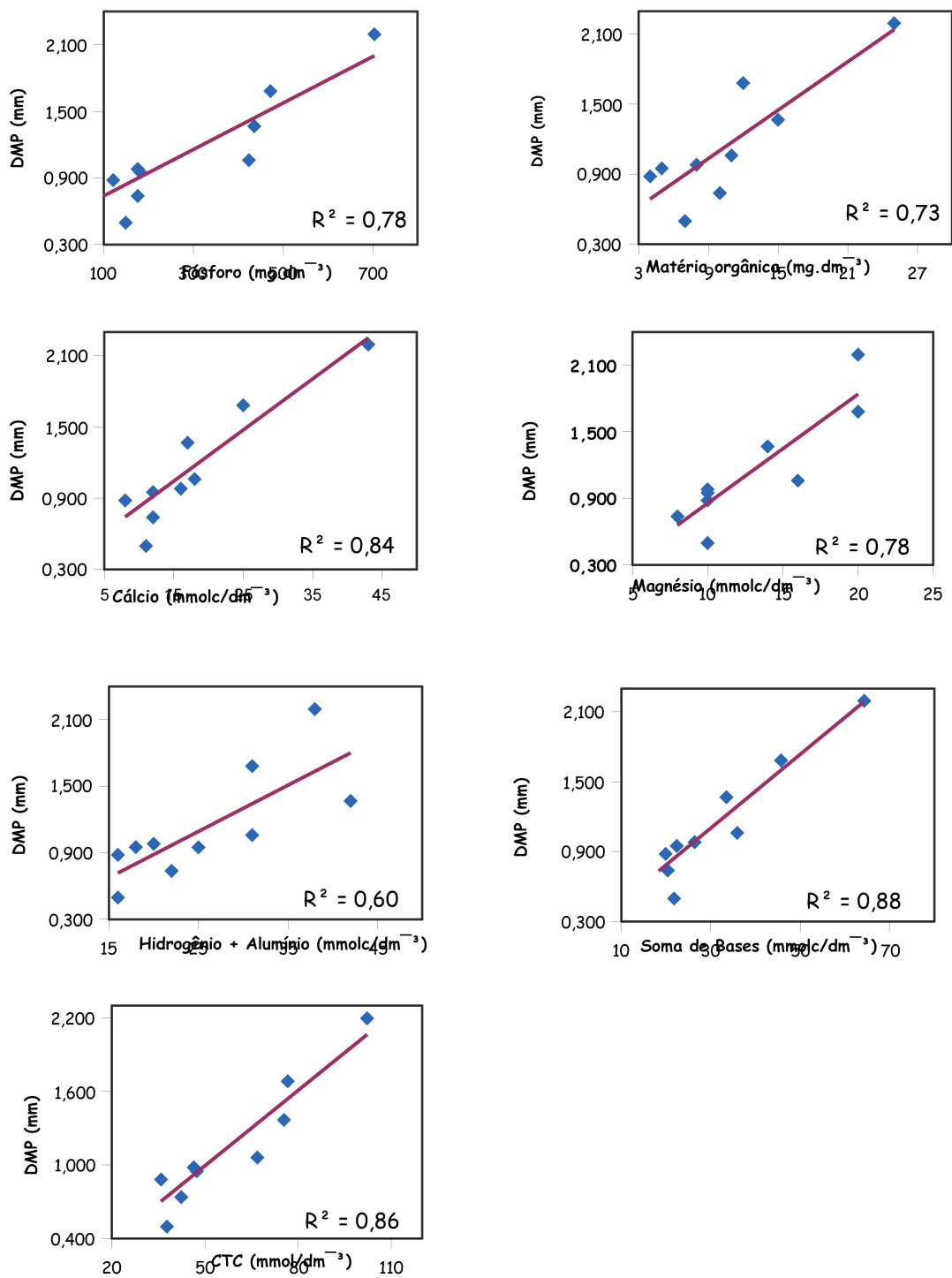


Figura 4.15 Relação entre o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados com alguns parâmetros químicos.

Os mecanismos que influem na agregação destes solos mostraram-se diretamente ligados aos teores de matéria orgânica, conforme amplamente relatado na literatura científica.

Analisando-se os coeficientes de variação para cada tratamento (Anexo 2), os índices das classes de diâmetros maiores ultrapassaram 100 % nos tratamentos substrato degradado, substrato degradado mais lodo e cultivado com eucalipto e substrato regenerado com capoeira. Este comportamento pode sugerir dados heterogêneos e que não representam as reais condições da área. Contudo, percebe-se que tal variação decorre do fato de estes solos terem revelado muitos pontos sem qualquer índice de agregação, ou, quando apresentaram, ocorreram em poucos pontos, conduzindo a altos coeficientes de variação; nos tratamentos sob cerrado o comportamento é contrário ao descrito.

4.1.3 Estabilidade dos agregados do solo sob chuva simulada

Neste experimento com o simulador de chuva, o agregado do solo da classe de diâmetro de 9,52-4,00 mm, recuperado no peneiramento rotativo a seco, foi submetido à chuva simulada, seguindo-se a tomada do peso médio dos agregados restantes da ruptura produzida pelas gotas. Na classe de tamanho de 9,52-6,35 mm, os tratamentos substrato degradado e substrato degradado+lodo+eucalipto não diferiram entre si, revelando os menores valores, com médias que variaram de 40 a 45 % (Tabela 4.5). Observa-se que o alto grau de adensamento a que foram submetidos os solos degradados conduziu-os a serem resistente à ação do gotejamento, já que seus resultados não estiveram tão abaixo dos demais tratamentos que não sofreram degradação tão intensa (Figura 4.16).

Os demais tratamentos (solo com pasto, substrato com capoeira e cerrado) estabeleceram um outro grupo de comportamento, com valores superiores, sem diferença estatística entre eles; o solo com pastagem, com 75,31 %, foi o que apresentou maior valor, comprovando, como no experimento com agitação em água, a eficiência das gramíneas na formação de agregados estáveis (BONI et al., 1994).

Tabela 4.5. Agregados estáveis sob chuva simulada (%), segundo as classes de agregados e tratamentos, na profundidade de 0-0,20 m.

Tratamentos	Classes de agregados (mm)		
	9,52-6,35 mm	9,52-4,00 mm	9,52-2,00 mm
	Agregados (%)		
Substrato Degradado	45,84 a	57,67 a	58,62 a
Substrato Degradado + Lodo + Eucalipto	40,64 a	55,62 a	44,15 b
Substrato com Capoeira	73,70 b	84,75 b	86,81 c
Solo com Pastagem	75,31 b	83,83 b	82,42 c
Solo sob Cerrado	62,42 b	81,32 b	84,29 c
C.V. (%)	56,03	39,65	31,45

C.V. – Coeficiente de variação. Médias, seguidas de mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O mesmo comportamento se repetiu na classe de tamanho de 9,52-4,00 mm, ou seja, o grupo de maiores percentuais aparece no substrato regenerado com capoeira, solo com pasto e cerrado. Nesta classe de tamanho os agregados demonstraram ser mais resistentes do que os da classe anterior, já que seus percentuais foram maiores (84,75 %, 83,83 % e 81,32 % respectivamente). Observa-se também que o maior resultado foi encontrado em um solo que sofreu degradação (capoeira), o que, provavelmente, conferiu aos seus agregados um grau de adensamento e resistência maiores, à semelhança do observado por Boni et al. (1995). Verificou-se aqui um comportamento que vai ao encontro de um estudo sobre adensamento de agregados (1,00-2,00 mm) desenvolvido por Guérif (1982), em função de 3 variáveis: teor de água, intensidade da pressão e tempo de aplicação da carga. Constatou-se que o teor de água provocou rearranjo dos agregados, conferindo-lhes comportamento semelhante ao da areia, e também que a sua coesão é da ordem de grandeza dos agregados adensados sob alta pressão.

Ainda na classe de 9,52-4,00 mm, os menores valores estão nos tratamentos substrato +lodo+eucalipto e substrato degradado, com valores respectivos de 55,62 % e 57,67 %, estatisticamente iguais. Os coeficientes de variação para cada tratamento nesta classe foram superiores a 50 %, denotando que em cada tratamento são sensíveis as mudanças apontadas pela análise da estabilidade dos agregados do solo.

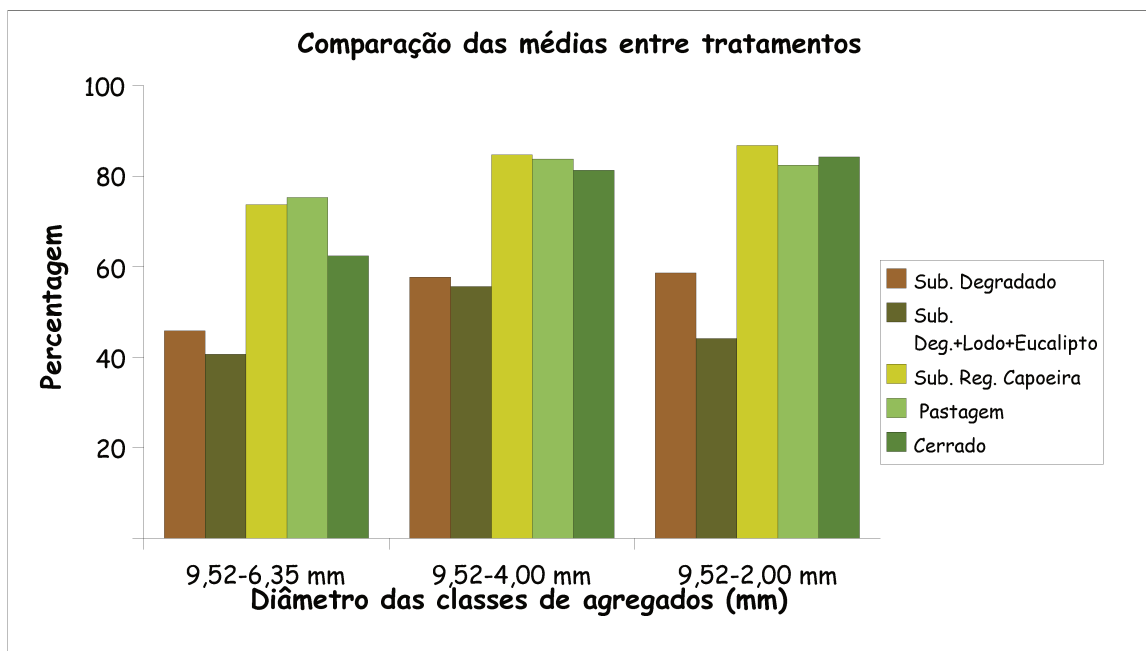


Figura 4.16 Comparação das classes de agregados, em função dos tratamentos e na profundidade de 0-20 cm.

Na classe de tamanho de 9,52-2,00 mm os tratamentos dividiram-se em 3 grupos, a partir do teste estatístico. O primeiro é constituído pelo solo+lodo+eucalipto com o menor valor, 44,15 %; o segundo grupo, intermediário, é do substrato degradado com 58,62 % e, por ultimo, os demais tratamentos (capoeira, cerrado e pastagem), com altos valores (86,81 %, 84,29 % e 82,42 %). As percentagens apresentadas em cada tratamento são indicativas das classes de agregados que mais afetam o desenvolvimento vegetativo, sendo claro que em condições de maior cobertura vegetal é que se dão as condições de desenvolvimento dos vegetais.

O substrato degradado+lodo+eucalipto não revelou maior valor de agregados estáveis sob chuva simulada quando comparado com o substrato degradado, diferindo do resultado obtido por agitação em água, em que a incorporação do lodo mostrou-se eficiente. É possível que a presença do material orgânico (lodo) tenha produzido um efeito contrário à molhabilidade, o que conferiria maior estabilidade aos agregados, por evitar entrada rápida de água nos poros, o que

provoca sua ruptura. Este efeito foi estudado em Latossolos e Argissolos brasileiros (CARON et al., 1996).

Todas as classes de agregados mostraram adequados valores de coeficiente de variação na análise do conjunto de dados correspondentes a todos os tratamentos (Anexo 4), principalmente quando comparados aos do experimento com agitação em água, demonstrando que a análise de estabilidade de agregados sob chuva simulada apresentou resultados coerentes, dadas as dificuldades que o aparelho costuma apresentar para a sua calibração.

A maioria dos trabalhos que utilizam simuladores de chuva o fazem para estabelecer paralelos com os efeitos da erosão hídrica, no que se refere à perda de solo e água em sistemas de manejo com preparo e sem preparo, sendo unânime a constatação de que no primeiro (manejo com preparo) há maior perda de solo (MELLO et al., 2003).

Os manejos convencionais de solo praticados com maior frequência tornam difícil a comparação com os resultados dos solos deste trabalho, que possuem um histórico de degradação acentuada. Outra dificuldade de comparação decorre do fato de os simuladores de chuva usualmente possuírem mecanismos de funcionamento diferentes do que foi utilizado.

Mello et al. (2003) utilizaram simulador de chuva com braços rotativos, enquanto que Souza (2004) empregou um com sistema mecânico de controle do bico aspersor para precisar a intensidade da precipitação, e Silva et al. (2005) usaram um infiltrômetro de aspersão regulado para aplicar chuva. Estes e outros métodos sempre procuraram um funcionamento de simuladores que mais se assemelhasse à condição de chuva natural.

4.2 *Microbiologia do solo*

A microbiota do solo constitui uma comunidade muito dinâmica, afetada por fatores como o pH, umidade, temperatura, aeração, tipo do solo, bem como pelas práticas de manejo, fertilização e uso de herbicidas. Os resultados obtidos desse estudo constam na Tabela 4.6 e estão ilustrados na Figura 4.17.

Na contagem de bactérias, a área de pastagem, com maior valor, $1.045,8.10^3$ ufc/s, apresentou semelhança estatística com o do segundo maior valor, solo sob cerrado ($595,4.10^3$ ufc/s), assim como na área com substrato degradado com lodo ($377,44.10^3$ ufc/s), confirmando a

eficácia das gramíneas como cobertura. As gramíneas caracterizam-se por possuir grande densidade de raízes, que promovem, pela exsudação, alimento para microrganismos da rizosfera (WOHLENBERG et al., 2004). Tais coberturas vegetais, gramíneas, demonstram ainda um grande efeito rizosférico sobre os microrganismos, por seu sistema radicular ser muito denso e apresentar renovação intensa (ALVARENGA et al., 1999).

Tabela 4.6. Valores médios da comunidade bacteriana, respiração basal, carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2), segundo os tratamentos e na profundidade de 0-0,20 m.

Tratamentos	Bactérias (ufcs)	Respiração (μgCO_2)	CBM ($\mu gC\ g^{-1}$)	qCO_2
Substrato Degradado	1,2.10 ³ a	11,06 a	56,29 a	0,21 a
Substrato Degradado+lodo+eucalipto	377,44.10 ³ abc	45,42 b	172,94 b	0,25 a
Substrato Reg. Capoeira	31,05.10 ³ ab	27,26 ab	109,78 ab	0,27 a
Solo com Pastagem	1.045,8.10 ³ c	71,48 c	328,01 c	0,22 a
Solo sob Cerrado	595,4.10 ³ bc	84,14 c	398,74 c	0,22 a
C.V (%)	115,08	61,71	65,52	37,31

C.V. – Coeficiente de variação. Médias, seguidas de mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Dengens et al. (1994) estudaram a contribuição de hifas, raízes e carbono orgânico na agregação de solos com gramíneas para pasto, tendo verificado sua influência no aumento dos macroagregados. Porém, tais macroagregados não se mostraram correlacionáveis com as propriedades microbiológicas analisadas, o mesmo tendo ocorrido no presente trabalho, pois foi o cerrado que apresentou os mais elevados resultados de agregados estáveis (Tabela 4.4), enquanto na presente análise microbiológica foi a pastagem que revelou os valores mais representativos de bactérias (Tabela 4.6).

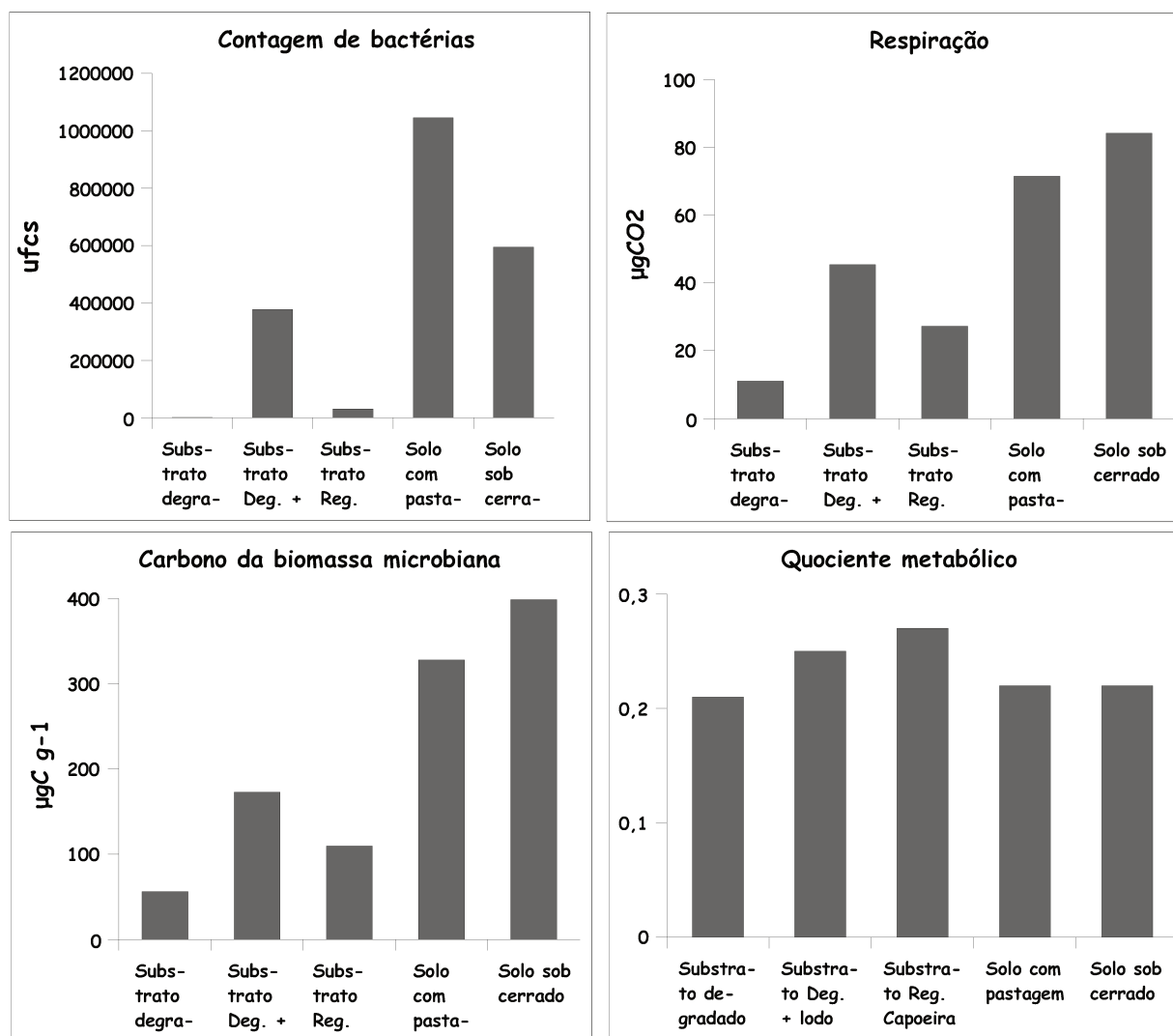


Figura 4.17 Contagem de bactérias, respiração, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico, em função dos tratamentos.

A partir dessa análise pôde se constatar que ambientes mais equilibrados, sem grandes modificações, são mais estáveis com relação a essa ocorrência microbiológica. Um interessante resultado foi o apresentado pela área em que lodo foi aplicado num cultivo com eucalipto, cuja comunidade bacteriana aumentou substancialmente, quando comparada à do substrato degradado, com valor de $377,44 \cdot 10^3$ ufc/s, mas que, estatisticamente, apresenta semelhança com a do substrato degradado e com a capoeira, mas também com a pastagem e cerrado, confirmando a eficácia da incorporação do lodo neste tratamento. Isto está em acordo com Deschamps e

Favoretto (1999), de que a adição de lodo de esgoto estimula a decomposição do húmus do solo devido ao expressivo aumento da comunidade microbiana, a qual produz enzimas que atacam a matéria orgânica do solo.

As bactérias apresentam carga elétrica negativa em sua superfície, com ação semelhante à da maioria dos colóides do solo; além disso, produzem grande parte dos polissacarídeos, por meio de excreção, que são como géis pouco molháveis que dificultam a infiltração e, conseqüentemente, diminuem a desagregação do solo (DUFRANC, 2001). Os microrganismos ocorrem predominantemente adsorvidos às partículas individuais do solo, na superfície ou dentro dos agregados, e as características mineralógicas do solo podem influenciar a composição e sobrevivência de espécies. No caso das bactérias, por possuírem cargas elétricas interagem com as superfícies dos colóides do solo (SIQUEIRA et al., 1994).

O substrato regenerado com capoeira e o substrato degradado ($31,05 \cdot 10^3$ ufc e $1,2 \cdot 10^3$ ufc respectivamente) foram os que apresentaram valores mais baixos e próximos de bactérias, não diferindo estatisticamente. Tal fato, provavelmente, deve-se à retirada de horizontes de seus solos e à ausência de vegetação, que é responsável pelo fornecimento de material orgânico, importante fonte de energia para a maioria dos microrganismos. As bactérias, dentre os microrganismos que compõem o solo, formam o grupo com maior diversidade fisiológica, o que proporciona maior adaptabilidade e tolerância a diversos fatores estressantes, como a modificação do ambiente do solo (SIQUEIRA et al., 1994). Brady (1989) considera a influência que elevados teores de cálcio têm no aumento das bactérias no solo. A área que mostrou uma das maiores quantidades de bactérias foi aquela em que foi incorporado calcário seguido de lodo, tendo o elemento cálcio sido detectado de modo pronunciado na análise química deste tratamento.

A respiração basal tem o intuito de medir a atividade da biomassa microbiana por meio da produção de CO_2 , ou seja, é utilizada para a medida da decomposição de compostos orgânicos no solo, permitindo, desse modo, melhor entendimento das funções da população decompositora e sua relação com as condições do ambiente. Desse modo, o solo sob cerrado ($84,14 \text{ mgCO}_2$) e o com pastagem ($71,48 \text{ mgCO}_2$) apresentaram os valores mais elevados dentre os tratamentos, estatisticamente iguais. Tais resultados são compreensíveis, pois, em ecossistemas pouco alterados, o aporte orgânico é maior, resultando em maior produção de CO_2 , devido à

decomposição dos compostos orgânicos do solo pela biomassa microbiana. Em seguida, é o substrato degradado cultivado com eucalipto e com lodo (45,42 mgCO₂) que apresentou o valor mais elevado, seguido pelo solo regenerado (27,26 mgCO₂), com igualdade estatística entre eles. O substrato degradado, com 11,06 mgCO₂ (o menor valor entre os tratamentos), foi estatisticamente igual ao substrato regenerado com capoeira. Tais resultados foram coerentes com as situações de uso do solo encontradas, ou seja, as taxas de respiração acompanharam a dinâmica de aumento e diminuição de material orgânico.

A biomassa microbiana revelou comportamento condizente com as condições de uso do solo, ou seja, seus maiores valores ocorreram nos tratamentos em que suas coberturas vegetais permaneceram inalteradas, a exemplo do solo sob cerrado, com 398,74 µgC g⁻¹, seguido pelo solo com pasto, com 328,01 µgC g⁻¹, iguais estatisticamente. Dentre os tratamentos que sofreram degradação, o substrato acrescido de lodo (172,94 µgC g⁻¹) apresentou melhor resultado do que a área em processo de regeneração natural (capoeira), com 109,78 µgC g⁻¹, apesar de estatisticamente serem iguais. O substrato degradado não surpreendeu ao demonstrar que sua biomassa microbiana é fraca, dada sua condição de solo degradado, estatisticamente igual (56,29 µgC g⁻¹) ao substrato regenerado com capoeira.

Colodro (2005) obteve, na mesma área, no substrato com lodo, valor de carbono microbiano 37 % superior ao do substrato degradado, tendo justificado tal comportamento a partir da presença de resíduos de lodo ainda presentes no substrato no momento da amostragem e pelo desenvolvimento radicular das culturas presentes no experimento (eucalipto e braquiária).

Tais resultados confirmam a expectativa de se encontrarem valores maiores em solos de vegetação mais densa e sem revolvimento, com maior presença de raízes; tais materiais decompostos representam fontes de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana. O solo com capoeira e o substrato degradado apresentaram quantidades intermediárias e menores.

Vance et al. (1987) sugeriram que as populações microbianas inoculadas nas amostras fumigadas não são capazes de metabolizar a matéria orgânica não-microbiana tão rapidamente quanto as nativas do solo não-fumigado, o que leva à subestimação da biomassa, podendo ter sido este o caso do substrato em que lodo foi acrescido.

Os atributos microbiológicos são fortemente influenciados quando as amostragens são feitas, como neste trabalho, em camadas superficiais do solo; nesta condição há grandes oscilações de umidade e temperatura. Ainda assim, é nessa camada que ocorre maior atividade microbiana devido ao constante depósito de material orgânico sobre o solo.

Em solos ácidos, diferentemente do que se imagina, em alguns locais a biomassa se mostra bem adaptada, sendo inibida apenas com pH muito baixo, como 2,0 e 3,0 (WARDLE & HUNGRIA, 1994). Um elemento relacionado ao baixo pH pode ser o elevado teor de alumínio, que pode ser tóxico aos microrganismos do solo.

Theodoro et al. (2003) não verificaram diferença estatística nos diferentes sistemas de manejo nos quais avaliaram o carbono da biomassa em um Latossolo Vermelho distrófico, tendo sido este fato atribuído ao longo período de estiagem ao qual foi submetida a área.

Dentre os fatores que podem alterar a biomassa microbiana, a qualidade da matéria orgânica é um dos mais importantes, de acordo com Wardle & Hungria (1994), o que se torna mais explícito quando resíduos orgânicos são adicionados ao substrato degradado.

Os resíduos vegetais e animais do solo dependem da atividade microbiana, que atuam na sua decomposição e mineralização; sua avaliação, portanto, fornece informações importantes para o entendimento da ciclagem de nutrientes, representando um importante indicador ecológico. Em suma, os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) no solo indicam o potencial de microrganismos, e a avaliação da respiração microbiana mostra a quantidade de C (CO_2 liberado em um período de incubação), sem permitir, no entanto, a aferição das perdas de C do ecossistema (MONTEIRO e GAMA-RODRIGUES, 2004).

As quantidades de nutrientes retidos na biomassa podem ser bem elevadas, principalmente para o nitrogênio. Este nutriente é liberado à medida que os microrganismos morrem e são mineralizados pela comunidade restante, razão pela qual, em solos submetidos a alterações ambientais a maior parte do N pode ser de origem microbiana (NDAW et al., 2002). Tal atributo permite estimar a contribuição da biota do solo na decomposição dos resíduos vegetais e, conseqüentemente, na liberação de N e P para as plantas.

Pelos dados da Tabela 4.6, todas as áreas apresentaram valores estatisticamente iguais de quociente metabólico, variando de 0,21 a 0,27 qCO_2 . Era de se esperar que o solo degradado apresentasse o menor valor. Desse modo, especula-se que este índice não seja adequado para

áreas muito degradadas, como é o caso desta, cujo o valor de liberação de CO₂ e de carbono da biomassa microbiana são bastante baixos, indicando tanto uma pequena comunidade quanto uma baixa atividade.

A atuação dos microorganismos na transformação do material orgânico é essencial para que a agregação ocorra em solos sob coberturas vegetais mais densas (LONGO et al., 1999).

Os coeficientes de variação por tratamento das análises microbiológicas (Anexo 5), quando comparados às demais análises físicas e químicas, foram baixos, demonstrando um comportamento homogêneo das análises realizadas, mesmo em se tratando da análise de atributos tão sensíveis às mudanças sofridas pelos solos. As exceções ficaram por conta da comunidade bacteriana e do coeficiente metabólico do substrato degradado+lodo+eucalipto, sugerindo que o estágio ainda ocorrente de decomposição do material orgânico (lodo de esgoto) influencia de modo a tornar heterogêneas as amostras. Os demais parâmetros microbiológicos apresentaram coeficientes de variação na casa dos 50 %.

5. CONCLUSÕES

A análise da estabilidade dos agregados, tanto por agitação em água como sob chuva simulada mostrou-se muito adequada como indicativa das mudanças que uso e manejo exercem na estrutura do solo.

As condições mais degradadas conduzem a altos percentuais de agregados nas classes de menores tamanhos, muito adensados.

Nos solos com pastagem, com cerrado e de substrato degradado que recebeu lodo foi que os agregados revelaram maior estabilidade nas classes de tamanhos maiores.

A atividade microbiana demonstrou que os tratamentos foram influenciados pela quantidade e qualidade de material orgânico fornecido.

Nos solos degradados, a biomassa microbiana foi mais atuante no substrato com lodo do que nos substrato degradado ou regenerado com capoeira. Nos solos não degradados, a cobertura com gramínea propiciou valores de biomassa microbiana mais elevados do que no solo sob cerrado.

6. ANEXOS

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento.

Tratamentos	Densidade aparente	Porosidade total	Microporo- sidade	Macroporo- sidade
	Mg.m-3	M3.m-3	Mg.m-3	
Substrato degradado	1,832	0,399	0,260	0,139
Substrato degradado	1,655	0,403	0,212	0,191
Substrato degradado	1,923	0,386	0,285	0,101
Substrato degradado	1,837	0,407	0,245	0,161
Substrato degradado	1,716	0,429	0,224	0,205
Substrato degradado	1,853	0,380	0,237	0,143
Substrato degradado	1,831	0,402	0,227	0,175
Substrato degradado	1,938	0,350	0,221	0,129
Substrato degradado	1,909	0,372	0,248	0,125
Substrato degradado	1,827	0,368	0,240	0,128
Substrato degradado	1,874	0,400	0,229	0,170
Substrato degradado	1,773	0,387	0,212	0,174
Substrato degradado	2,011	0,346	0,245	0,101
Substrato degradado	2,064	0,314	0,212	0,102
Substrato degradado	2,102	0,309	0,238	0,072
Substrato degradado	1,778	0,381	0,237	0,145
Substrato degradado	1,912	0,403	0,262	0,141
Substrato degradado	1,955	0,393	0,271	0,122
Substrato degradado	1,909	0,341	0,223	0,118
Substrato degradado	1,853	0,382	0,275	0,107
Substrato degradado	2,035	0,317	0,242	0,075
Substrato degradado	2,009	0,315	0,229	0,086
Substrato degradado	1,986	0,378	0,255	0,123
Substrato degradado	2,009	0,320	0,233	0,087
Substrato degradado	1,889	0,333	0,246	0,086
Substrato degradado	2,009	0,328	0,249	0,079
Substrato degradado	1,997	0,295	0,229	0,066
Substrato degradado	2,040	0,309	0,241	0,069
Substrato degradado	2,077	0,301	0,237	0,064
Substrato degradado	1,901	0,331	0,241	0,090
C.V.	5,71	10,78	7,51	32,99

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento (continuação).

Substrato Deg. + lodo	1,610	0,501	0,282	0,219
Substrato Deg. + lodo	1,489	0,521	0,252	0,269
Substrato Deg. + lodo	1,543	0,482	0,214	0,268
Substrato Deg. + lodo	1,546	0,488	0,250	0,238
Substrato Deg. + lodo	1,608	0,392	0,170	0,223
Substrato Deg. + lodo	1,626	0,477	0,284	0,193
Substrato Deg. + lodo	1,677	0,480	0,236	0,244
Substrato Deg. + lodo	1,477	0,545	0,304	0,241
Substrato Deg. + lodo	1,744	0,438	0,188	0,251
Substrato Deg. + lodo	1,651	0,474	0,201	0,274
Substrato Deg. + lodo	1,348	0,599	0,332	0,266
Substrato Deg. + lodo	1,528	0,527	0,252	0,275
Substrato Deg. + lodo	1,490	0,466	0,228	0,237
Substrato Deg. + lodo	1,818	0,386	0,200	0,185
Substrato Deg. + lodo	1,457	0,518	0,253	0,266
Substrato Deg. + lodo	1,467	0,487	0,217	0,270
Substrato Deg. + lodo	1,528	0,583	0,257	0,326
Substrato Deg. + lodo	1,476	0,472	0,230	0,242
Substrato Deg. + lodo	1,735	0,481	0,324	0,156
Substrato Deg. + lodo	1,556	0,471	0,254	0,217
Substrato Deg. + lodo	1,717	0,428	0,226	0,202
Substrato Deg. + lodo	1,820	0,457	0,233	0,224
Substrato Deg. + lodo	1,671	0,455	0,231	0,224
Substrato Deg. + lodo	1,834	0,434	0,247	0,187
Substrato Deg. + lodo	1,644	0,467	0,282	0,185
Substrato Deg. + lodo	1,637	0,476	0,276	0,200
Substrato Deg. + lodo	1,639	0,451	0,252	0,199
Substrato Deg. + lodo	1,730	0,457	0,248	0,209
Substrato Deg. + lodo	1,732	0,460	0,245	0,216
Substrato Deg. + lodo	1,484	0,434	0,192	0,242
C.V.	7,68	9,80	15,47	15,62

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento (continuação).

Substrato Reg. Capoeira	1,577	0,456	0,297	0,159
Substrato Reg. Capoeira	1,594	0,471	0,269	0,203
Substrato Reg. Capoeira	1,598	0,442	0,275	0,168
Substrato Reg. Capoeira	1,722	0,395	0,277	0,118
Substrato Reg. Capoeira	1,708	0,443	0,285	0,158
Substrato Reg. Capoeira	1,605	0,473	0,253	0,220
Substrato Reg. Capoeira	1,677	0,428	0,284	0,145
Substrato Reg. Capoeira	1,633	0,464	0,294	0,170
Substrato Reg. Capoeira	1,542	0,448	0,259	0,188
Substrato Reg. Capoeira	1,745	0,404	0,297	0,107
Substrato Reg. Capoeira	1,536	0,464	0,285	0,179
Substrato Reg. Capoeira	1,513	0,490	0,270	0,221
Substrato Reg. Capoeira	1,641	0,465	0,265	0,201
Substrato Reg. Capoeira	1,585	0,480	0,253	0,227
Substrato Reg. Capoeira	1,634	0,438	0,286	0,152
Substrato Reg. Capoeira	1,464	0,480	0,237	0,243
Substrato Reg. Capoeira	1,602	0,477	0,250	0,227
Substrato Reg. Capoeira	1,581	0,475	0,282	0,193
Substrato Reg. Capoeira	1,746	0,436	0,266	0,169
Substrato Reg. Capoeira	1,766	0,425	0,269	0,156
Substrato Reg. Capoeira	1,709	0,408	0,251	0,156
Substrato Reg. Capoeira	1,624	0,424	0,237	0,186
Substrato Reg. Capoeira	1,689	0,454	0,273	0,180
Substrato Reg. Capoeira	1,739	0,422	0,309	0,113
Substrato Reg. Capoeira	1,683	0,436	0,242	0,194
Substrato Reg. Capoeira	1,796	0,432	0,277	0,156
Substrato Reg. Capoeira	1,736	0,414	0,271	0,143
Substrato Reg. Capoeira	1,673	0,432	0,254	0,178
Substrato Reg. Capoeira	1,712	0,418	0,273	0,145
Substrato Reg. Capoeira	1,821	0,389	0,292	0,097
C.V.	5,26	6,18	6,79	21,42

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento (continuação).

Solo com pastagem	1,781	0,369	0,219	0,150
Solo com pastagem	1,773	0,407	0,252	0,155
Solo com pastagem	1,748	0,433	0,241	0,192
Solo com pastagem	1,701	0,404	0,220	0,184
Solo com pastagem	1,681	0,429	0,237	0,193
Solo com pastagem	1,605	0,402	0,230	0,172
Solo com pastagem	1,724	0,403	0,271	0,132
Solo com pastagem	1,743	0,398	0,257	0,141
Solo com pastagem	1,749	0,439	0,268	0,171
Solo com pastagem	1,664	0,459	0,216	0,242
Solo com pastagem	1,682	0,459	0,224	0,234
Solo com pastagem	1,765	0,426	0,252	0,174
Solo com pastagem	1,643	0,405	0,264	0,141
Solo com pastagem	1,731	0,435	0,255	0,179
Solo com pastagem	1,712	0,422	0,264	0,158
Solo com pastagem	1,614	0,435	0,207	0,228
Solo com pastagem	1,717	0,516	0,268	0,248
Solo com pastagem	1,855	0,413	0,247	0,165
Solo com pastagem	1,611	0,475	0,294	0,180
Solo com pastagem	1,615	0,456	0,266	0,190
Solo com pastagem	1,654	0,459	0,247	0,212
Solo com pastagem	1,744	0,440	0,230	0,210
Solo com pastagem	1,677	0,439	0,235	0,204
Solo com pastagem	1,735	0,437	0,246	0,191
Solo com pastagem	1,526	0,480	0,313	0,167
Solo com pastagem	1,533	0,436	0,236	0,200
Solo com pastagem	1,642	0,454	0,233	0,221
Solo com pastagem	1,580	0,451	0,234	0,217
Solo com pastagem	1,663	0,407	0,237	0,170
Solo com pastagem	1,643	0,462	0,247	0,215
C.V.	4,46	6,87	9,31	16,40

Anexo 1. Dados de densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo, por tratamento (continuação).

Solo sob cerrado	1,336	0,628	0,177	0,451
Solo sob cerrado	1,268	0,512	0,184	0,327
Solo sob cerrado	1,310	0,548	0,159	0,389
Solo sob cerrado	1,349	0,558	0,174	0,384
Solo sob cerrado	1,186	0,529	0,152	0,377
Solo sob cerrado	1,149	0,564	0,186	0,378
Solo sob cerrado	1,061	0,441	0,151	0,290
Solo sob cerrado	1,198	0,512	0,145	0,367
Solo sob cerrado	1,209	0,490	0,190	0,299
Solo sob cerrado	1,137	0,532	0,167	0,366
Solo sob cerrado	1,297	0,554	0,172	0,383
Solo sob cerrado	1,236	0,565	0,198	0,367
Solo sob cerrado	1,066	0,510	0,159	0,352
Solo sob cerrado	0,980	0,495	0,185	0,310
Solo sob cerrado	1,208	0,505	0,172	0,333
Solo sob cerrado	1,341	0,542	0,245	0,298
Solo sob cerrado	1,085	0,526	0,135	0,391
Solo sob cerrado	1,015	0,618	0,180	0,438
Solo sob cerrado	1,134	0,742	0,158	0,583
Solo sob cerrado	1,080	0,434	0,221	0,213
Solo sob cerrado	0,288	1,551	1,163	0,389
Solo sob cerrado	1,182	0,495	0,205	0,290
Solo sob cerrado	1,177	0,541	0,167	0,374
Solo sob cerrado	1,143	0,514	0,158	0,356
Solo sob cerrado	1,262	0,542	0,179	0,363
Solo sob cerrado	1,115	0,468	0,962	-0,494
Solo sob cerrado	1,221	0,527	0,142	0,385
Solo sob cerrado	1,285	0,520	0,179	0,341
Solo sob cerrado	1,172	0,536	0,158	0,378
Solo sob cerrado	1,200	0,545	0,150	0,396
C.V.	16,42	34,18	98,28	50,27

Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento.

Tratamento	Classe de Agregados -(mm)							DMP
	9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	
	Agregados (%)							
Substrato Degradado	1,40	2,97	2,61	6,32	5,70	6,95	74,05	0,98
Substrato Degradado	1,78	5,53	6,44	4,49	3,85	5,29	72,63	1,30
Substrato Degradado	2,80	1,37	3,84	4,38	4,23	6,67	76,71	0,98
Substrato Degradado	0,83	0,33	5,36	3,00	3,03	4,83	82,63	0,75
Substrato Degradado	0,63	5,91	10,75	9,19	7,50	9,57	56,45	1,63
Substrato Degradado	0,00	3,40	8,16	8,02	6,21	8,97	65,24	1,23
Substrato Degradado	0,00	4,15	23,77	7,41	5,95	6,99	51,73	2,02
Substrato Degradado	2,08	7,93	11,79	14,83	4,71	6,21	52,45	2,05
Substrato Degradado	0,63	4,44	8,28	6,54	4,29	6,56	69,25	1,28
Substrato Degradado	0,00	0,00	2,53	1,50	2,42	6,62	86,93	0,48
Substrato Degradado	2,08	2,32	2,07	3,75	3,10	5,92	80,75	0,86
Substrato Degradado	0,00	1,04	5,77	5,52	4,63	6,54	76,50	0,85
Substrato Degradado	0,16	2,15	5,76	7,11	5,52	6,53	72,78	0,99
Substrato Degradado	1,95	3,23	7,40	5,22	4,85	7,27	70,09	1,24
Substrato Degradado	0,07	0,29	0,50	1,44	2,01	6,95	88,74	0,40
Substrato Degradado	0,17	0,44	0,50	2,12	3,10	6,27	87,41	0,45
Substrato Degradado	0,00	2,18	1,99	1,31	1,97	5,71	86,85	0,59
Substrato Degradado	0,03	0,08	0,30	1,20	3,15	10,59	84,66	0,40
Substrato Degradado	1,08	2,31	0,30	0,22	4,16	14,63	77,30	0,65
Substrato Degradado	2,85	4,22	2,08	1,25	2,11	5,07	82,43	0,97
Substrato Degradado	0,00	1,10	3,10	3,00	3,10	8,00	81,70	0,64
Substrato Degradado	0,04	0,91	0,67	1,18	1,49	4,67	91,03	0,42
Substrato Degradado	0,00	0,05	0,28	0,81	1,70	6,13	91,02	0,34
Substrato Degradado	0,00	0,05	0,05	1,63	3,81	12,44	82,02	0,41
Substrato Degradado	0,00	0,00	0,03	0,69	13,18	21,97	64,13	0,55
Substrato Degradado	0,00	0,00	0,00	1,62	1,70	7,95	88,72	0,36
Substrato Degradado	0,00	0,44	1,56	1,20	15,60	21,59	59,62	0,69
Substrato Degradado	0,00	0,00	0,57	0,94	2,81	3,08	92,59	0,35
Substrato Degradado	2,19	0,00	0,08	1,18	2,57	7,38	86,60	0,54
Substrato Degradado	0,00	0,00	0,35	0,91	2,01	8,14	88,59	0,36
Desv. Pad.	0,96	2,13	5,07	3,34	3,14	4,34	11,81	0,48
Média	0,69	1,89	3,9	3,6	4,35	8,18	77,39	0,83
Coef. Var	138,58	112,58	130,11	92,78	72,16	53,09	15,26	57,85

Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento (continuação).

Tratamento	Classe de Agregados - (mm)							DMP
	9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	
	Agregados (%)							
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,12	2,06	5,65	7,04	2,96	8,38	73,79	0,95
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	2,88	2,41	5,43	3,37	5,01	8,67	72,23	1,13
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	2,79	3,98	4,52	3,84	8,04	76,83	0,85
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,87	2,05	4,40	3,99	4,56	6,70	77,43	0,88
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	3,05	0,63	3,02	4,64	4,48	8,14	76,04	0,93
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	4,40	4,84	3,79	3,49	3,41	7,44	72,62	1,32
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	0,98	2,86	3,27	5,09	7,64	80,16	0,65
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	2,24	3,33	7,72	7,08	6,33	8,94	64,37	1,37
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	0,97	1,81	3,91	3,35	8,47	81,49	0,60
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	3,12	1,50	4,98	4,27	3,65	7,08	75,40	1,06
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	3,42	8,52	17,30	6,72	4,37	6,42	53,25	2,25
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	11,47	9,62	11,44	5,42	3,64	4,93	53,47	2,67
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,77	0,28	4,02	4,15	6,68	11,66	72,43	0,79
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	1,75	2,15	4,89	7,06	4,91	9,04	70,21	1,09
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,57	2,49	6,91	5,27	4,86	8,87	71,02	1,06
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	1,34	1,94	5,95	2,98	3,40	7,20	77,19	0,95
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	2,70	3,27	4,17	3,15	1,88	5,39	79,44	1,05
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,36	1,49	6,40	3,92	4,95	6,56	76,31	0,90
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,05	0,13	3,25	11,94	6,06	9,43	69,12	0,88
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	7,49	8,53	10,49	3,58	4,74	9,54	55,62	2,20
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	1,73	1,38	2,60	2,57	2,72	6,67	82,32	0,76
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,82	1,92	1,71	3,88	3,05	7,72	80,91	0,72
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	0,19	1,62	2,60	3,62	7,74	84,23	0,50
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	1,18	3,37	4,39	5,95	9,28	75,82	0,74
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	1,71	4,11	6,32	6,89	10,63	70,35	0,88
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	4,43	2,95	9,36	8,34	8,54	11,36	55,02	1,68
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,34	2,25	2,96	2,57	3,36	7,51	81,02	0,73
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	1,08	1,39	1,98	4,63	3,57	6,41	80,92	0,74
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	0,00	0,97	7,01	4,52	3,81	7,09	76,60	0,87
Sub. Deg. + Lodo + Eucalipto	1,90	2,55	5,28	4,81	4,47	8,03	72,95	1,08
Desv. Pad.	2,53	2,38	3,37	2,02	1,43	1,57	8,66	0,50
Média	1,90	2,55	5,28	4,81	4,47	8,03	72,95	1,08
Coef. Var	133,26	93,50	63,80	41,90	31,99	19,49	11,86	46,92

Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento (continuação).

Tratamento	Classe de Agregados - (mm)							DMP
	9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	
	Agregados (%)							
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	0,00	0,00	1,76	6,00	10,92	81,32	0,43
Sub. Regenerado Capoeira	2,46	2,47	10,56	16,50	18,94	6,93	42,14	1,87
Sub. Regenerado Capoeira	0,90	4,50	9,40	10,20	7,80	12,00	54,90	1,55
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	5,56	12,54	11,37	21,32	9,58	39,62	1,88
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	7,35	12,31	15,72	13,16	12,31	39,15	2,02
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	2,45	7,90	13,46	11,11	12,50	52,58	1,38
Sub. Regenerado Capoeira	3,09	1,22	6,04	14,62	12,55	12,80	49,69	1,52
Sub. Regenerado Capoeira	4,74	8,66	12,54	17,38	14,44	9,67	32,56	2,57
Sub. Regenerado Capoeira	0,07	3,75	19,57	11,55	14,30	10,11	40,65	2,02
Sub. Regenerado Capoeira	1,47	3,91	10,69	15,16	11,29	8,91	48,56	1,77
Sub. Regenerado Capoeira	1,11	1,81	4,48	14,26	16,95	18,90	42,49	1,39
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	0,00	4,86	13,22	14,61	14,86	52,45	1,11
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	1,41	7,26	12,77	14,64	12,54	51,37	1,30
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	0,98	12,32	14,03	11,82	13,19	47,66	1,52
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	1,67	9,68	12,37	11,52	10,24	54,53	1,38
Sub. Regenerado Capoeira	1,61	3,52	7,72	11,90	15,75	10,09	49,42	1,58
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	1,77	12,50	13,65	12,75	14,87	44,46	1,60
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	1,98	4,01	7,77	12,47	15,04	58,72	1,03
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	2,39	6,17	10,28	13,55	15,30	52,31	1,25
Sub. Regenerado Capoeira	0,81	3,08	17,09	13,35	11,93	11,82	41,92	1,95
Sub. Regenerado Capoeira	1,90	3,06	7,58	12,43	16,47	14,73	43,84	1,62
Sub. Regenerado Capoeira	1,42	2,33	6,08	12,97	18,57	15,77	42,87	1,50
Sub. Regenerado Capoeira	0,62	1,24	6,37	11,69	13,21	15,32	51,56	1,26
Sub. Regenerado Capoeira	1,85	4,55	7,31	7,64	11,56	12,03	55,07	1,49
Sub. Regenerado Capoeira	0,45	1,57	5,22	6,51	9,06	9,75	67,44	0,99
Sub. Regenerado Capoeira	1,77	6,83	9,40	10,09	12,77	12,46	46,68	1,83
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	4,76	11,36	14,15	11,94	11,58	46,20	1,73
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	0,87	5,20	12,80	11,32	19,46	50,35	1,16
Sub. Regenerado Capoeira	1,24	0,07	6,43	13,19	14,49	15,07	49,53	1,30
Sub. Regenerado Capoeira	0,00	1,58	4,15	6,12	6,17	7,30	74,68	0,85
Desv. Pad.	1,15	2,17	4,10	3,34	3,42	3,00	10,20	0,42
Média	0,85	2,84	8,56	11,96	13,08	12,53	50,16	1,50
Coef. Var	134,92	76,18	47,91	27,89	26,11	23,96	20,33	27,83

Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento (continuação).

Tratamento	Classe de Agregados - (mm)							DMP
	9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	
	Agregados (%)							(mm)
Solo com Pasto	1,76	6,32	13,75	14,30	10,30	12,37	41,22	2,09
Solo com Pasto	0,00	3,90	11,37	12,66	13,45	16,71	41,92	1,68
Solo com Pasto	6,43	6,76	14,20	8,04	9,64	12,86	42,08	2,37
Solo com Pasto	1,30	2,76	8,11	12,36	12,50	16,22	46,75	1,53
Solo com Pasto	0,00	0,36	4,42	18,61	16,41	14,14	46,05	1,28
Solo com Pasto	0,00	1,13	16,89	13,43	10,19	15,24	43,12	1,73
Solo com Pasto	1,66	1,26	6,81	10,95	11,54	12,94	54,83	1,32
Solo com Pasto	1,63	5,40	14,95	17,76	14,36	13,20	32,70	2,23
Solo com Pasto	0,00	1,87	8,68	15,93	13,58	14,55	45,39	1,49
Solo com Pasto	1,99	3,76	11,62	17,13	14,07	14,35	37,08	1,97
Solo com Pasto	0,00	2,94	7,98	15,35	13,37	15,11	45,25	1,51
Solo com Pasto	0,00	2,59	13,07	22,80	15,61	13,87	32,06	1,96
Solo com Pasto	2,37	3,51	9,75	15,47	12,41	10,56	45,93	1,81
Solo com Pasto	3,10	1,61	9,95	15,94	13,62	16,40	39,38	1,80
Solo com Pasto	1,58	4,55	9,61	15,38	12,42	14,08	42,38	1,82
Solo com Pasto	1,97	3,72	16,01	19,07	13,22	12,85	33,16	2,22
Solo com Pasto	4,80	3,10	8,19	14,81	13,26	15,56	40,28	1,92
Solo com Pasto	1,13	6,64	12,02	16,60	13,13	13,66	36,82	2,08
Solo com Pasto	0,64	4,93	12,50	13,22	12,39	16,16	40,16	1,86
Solo com Pasto	3,98	6,88	10,26	10,77	11,76	16,61	39,75	2,09
Solo com Pasto	6,05	3,14	12,33	12,70	10,46	10,73	44,59	2,12
Solo com Pasto	3,93	4,07	15,10	12,58	10,86	14,12	39,34	2,16
Solo com Pasto	3,19	6,18	15,74	22,41	14,24	13,94	24,29	2,59
Solo com Pasto	1,54	8,08	16,37	11,25	13,22	16,85	32,70	2,30
Solo com Pasto	6,74	2,83	5,55	10,74	13,59	18,17	42,38	1,85
Solo com Pasto	3,55	8,99	18,85	11,15	7,78	9,52	40,15	2,55
Solo com Pasto	1,45	3,30	12,89	14,18	10,47	12,43	45,29	1,82
Solo com Pasto	1,82	5,36	12,95	13,46	10,21	10,50	45,72	1,96
Solo com Pasto	7,68	14,45	13,27	10,43	7,27	8,14	38,76	2,97
Solo com Pasto	0,96	4,47	11,99	16,40	12,29	13,52	40,36	1,90
Desv. Pad.	2,17	2,81	3,48	3,43	2,08	2,34	5,81	0,37
Média	2,37	4,50	11,84	14,53	12,25	13,84	40,66	1,97
Coef. Var	91,34	62,56	29,41	23,61	16,95	16,91	14,28	18,94

Anexo 2. Dados do experimento de estabilidade dos agregados sob agitação em água, por tratamento (continuação).

Tratamento	Classe de Agregados - %							DMP (mm)
	9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	
	Agregados (mm)							
Solo sob cerrado	0,91	6,14	26,53	22,32	9,44	8,24	26,42	2,83
Solo sob cerrado	6,77	12,79	17,06	10,01	3,47	5,69	44,21	2,89
Solo sob cerrado	1,42	7,92	18,89	15,76	8,42	11,80	35,78	2,44
Solo sob cerrado	0,85	5,02	25,48	28,58	4,11	11,04	24,92	2,82
Solo sob cerrado	0,00	1,63	15,56	30,81	4,35	15,96	31,68	2,11
Solo sob cerrado	2,63	9,51	28,38	20,85	8,32	7,18	23,14	3,24
Solo sob cerrado	0,89	5,42	31,50	25,35	7,44	10,41	18,99	3,09
Solo sob cerrado	0,85	6,89	9,53	22,73	9,77	18,59	31,64	2,11
Solo sob cerrado	2,36	9,25	28,10	22,41	8,29	9,12	20,48	3,24
Solo sob cerrado	2,45	7,24	18,48	23,07	10,24	10,76	27,76	2,68
Solo sob cerrado	3,69	9,47	29,00	20,30	7,30	7,10	23,14	3,33
Solo sob cerrado	28,12	20,06	23,21	11,76	3,33	3,06	10,47	5,54
Solo sob cerrado	21,13	29,99	29,91	5,07	1,78	2,39	9,73	5,75
Solo sob cerrado	18,64	29,28	32,68	5,15	2,20	3,07	8,97	5,64
Solo sob cerrado	20,64	29,18	29,94	12,31	2,71	1,67	3,54	5,87
Solo sob cerrado	27,68	17,08	31,19	8,00	3,45	3,50	9,11	5,59
Solo sob cerrado	17,12	36,62	30,56	8,35	2,21	2,93	2,22	6,00
Solo sob cerrado	10,93	23,61	42,97	13,50	2,22	2,69	4,09	5,33
Solo sob cerrado	24,47	23,77	34,42	11,89	2,01	1,49	1,96	6,02
Solo sob cerrado	17,71	27,56	32,92	8,82	2,53	3,51	6,95	5,56
Solo sob cerrado	27,70	23,47	19,32	9,09	3,84	2,54	14,05	5,48
Solo sob cerrado	31,66	26,66	24,99	8,31	2,30	2,67	3,40	6,27
Solo sob cerrado	35,08	25,73	24,43	8,23	2,70	2,41	1,41	6,47
Solo sob cerrado	32,91	32,10	23,90	5,36	1,90	1,98	1,85	6,61
Solo sob cerrado	23,34	15,92	36,94	13,65	3,32	3,23	3,60	5,58
Solo sob cerrado	45,92	21,71	14,64	9,45	2,85	2,85	2,58	6,67
Solo sob cerrado	25,53	18,20	32,11	8,70	3,27	3,26	8,93	5,55
Solo sob cerrado	19,62	29,29	29,14	12,42	2,67	2,86	4,00	5,76
Solo sob cerrado	26,20	20,39	31,30	8,37	3,15	3,59	7,00	5,73
Solo sob cerrado	16,30	19,40	25,18	14,85	4,21	6,36	13,70	4,70
Desv. Pad.	12,85	9,72	7,24	7,29	2,70	4,43	11,98	1,54
Média	16,45	18,38	26,61	14,18	4,46	5,73	14,19	4,70
Coef. Var	78,14	52,90	27,21	51,40	60,64	77,34	84,39	32,72

Anexo 3. Dados brutos de fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H)+ alumínio, (Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e seus coeficientes de variação, por tratamento.

Tratamentos	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
	mg/dm ³	mg/dm ³	CaCl ₂	mmol/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³
Substrato Degradado	1	3	4,8	1,4	5	3	15	1	9,4	24,4
Substrato Degradado	3	5	4,5	0,3	6	3	16	3	9,3	25,3
Substrato Degradado	1	5	4,6	0,3	6	3	15	2	9,3	24,3
Substrato Degradado	1	4	4,4	0,3	5	1	16	4	6,3	22,3
Substrato Degradado	1	1	4,3	0,2	5	1	16	4	6,2	22,2
Substrato Degradado	1	3	4,5	0,2	7	1	15	3	8,2	23,2
Substrato Degradado	1	1	4,3	0,2	8	-	16	4	-	-
Substrato Degradado	1	1	4,3	0,5	2	1	16	5	3,5	19,5
Substrato Degradado	1	1	4,3	0,2	1	1	16	5	2,2	18,2
Substrato Degradado	1	1	4,5	0,2	4	1	15	3	5,2	20,2
CV	52,70	68,64	3,71	97,52	43,51	60,00	3,31	37,20	40,01	10,95
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	36	7	5,2	0,4	8	10	18	0	18,4	36,4
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	121	4	5,4	1,9	8	10	16	0	19,9	35,9
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	436	15	4,4	2,5	17	14	42	3	33,5	75,5
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	424	11	4,6	1,9	18	16	31	2	35,9	66,9
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	182	5	4,8	0,4	12	10	25	2	22,4	47,4
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	704	25	4,9	1,3	43	20	38	2	64,3	102,3
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	149	7	5,3	0,8	11	10	16	0	21,8	37,8
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	176	10	4,9	0,4	12	8	22	2	20,4	42,4
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	472	12	4,7	0,7	25	20	31	3	45,7	76,7
Sub. Deg.Lodo+Eucalipto	176	8	4,6	0,4	16	10	20	2	26,4	46,4
CV	72,78	58,79	6,75	72,93	61,69	34,70	35,65	73,36	47,43	39,54
Sub. Regenerado Capoeira	2	13	4,7	0,6	5	4	20	2	9,6	29,6
Sub. Regenerado Capoeira	1	13	4,7	3,3	5	3	20	2	11,3	31,3
Sub. Regenerado Capoeira	1	13	4,4	0,5	6	3	25	5	9,5	34,5
Sub. Regenerado Capoeira	2	11	4,4	0,6	5	3	25	5	8,6	33,6
Sub. Regenerado Capoeira	1	11	4,4	0,5	4	3	25	5	7,5	32,5
Sub. Regenerado Capoeira	1	11	4,4	0,5	4	3	25	6	7,5	32,5
Sub. Regenerado Capoeira	1	12	4,4	0,7	3	1	28	6	4,7	32,7
Sub. Regenerado Capoeira	1	11	4,2	0,4	4	3	25	8	7,4	32,4
Sub. Regenerado Capoeira	1	15	4,4	0,7	3	2	25	6	5,7	30,7
Sub. Regenerado Capoeira	1	8	4,4	0,6	10	9	20	5	19,6	39,6
CV	35,14	15,88	3,39	103,51	41,32	62,31	11,68	36,51	45,36	8,27

Anexo 3. Dados brutos de fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H)+ alumínio, (Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e seus coeficientes de variação, por tratamento (continuação).

Solo com Pasto	5	21	4,7	0,8	10	10	28	2	20,8	48,8	43
Solo com Pasto	5	22	4,7	1,6	7	6	28	2	14,6	42,6	34
Solo com Pasto	4	18	4,5	0,8	8	7	28	3	15,8	43,8	36
Solo com Pasto	3	18	4,6	0,8	9	8	31	3	17,8	48,8	36
Solo com Pasto	3	17	4,9	3,3	14	11	25	1	28,3	53,3	53
Solo com Pasto	5	22	5	0,8	9	7	22	1	16,8	38,8	43
Solo com Pasto	4	20	4,6	0,8	8	7	28	3	15,8	43,8	36
Solo com Pasto	3	20	4,8	1,4	10	9	25	2	20,4	45,4	45
Solo com Pasto	3	20	4,7	1,4	13	12	28	2	26,4	54,4	49
Solo com Pasto	6	22	5,1	0,8	3	3	22	1	6,8	28,8	24
CV	26,84	9,13	3,99	63,02	33,75	32,81	11,00	40,82	33,36	16,55	21,02
Solo com Cerrado	5	15	4,1	1	3	4	38	9	8	46	17
Solo com Cerrado	4	16	4,1	0,7	1	4	38	10	5,7	43,7	13
Solo com Cerrado	6	20	4,2	1	4	7	38	7	12	50	24
Solo com Cerrado	6	24	4,3	1,5	3	5	42	9	9,5	51,5	18
Solo com Cerrado	5	16	4,2	0,8	3	6	38	9	9,8	47,8	21
Solo com Cerrado	8	24	4,3	1,7	5	5	47	11	11,7	58,7	20
Solo com Cerrado	4	18	4,1	1,1	3	4	42	12	8,1	50,1	16
Solo com Cerrado	7	25	4,1	1,4	4	5	47	12	10,4	57,4	18
Solo com Cerrado	7	22	4,2	1,7	3	4	47	10	8,7	55,7	16
Solo com Cerrado	6	25	4,1	1,4	8	5	42	8	14,4	56,4	26
CV	22,70	19,55	1,97	29,20	49,43	20,29	9,38	16,87	24,96	9,91	20,79

Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento.

Tratamentos	AMOSTRA	Classes de agregados (mm)		
		9,52-6,35	9,52-4,00 mm	9,52-2,00mm
		Agregados (%)		
Substrato Degradado	1	53,10	16,45	44,31
Substrato Degradado	2	12,81	47,27	54,68
Substrato Degradado	3	52,31	41,05	32,28
Substrato Degradado	4	39,83	63,50	32,64
Substrato Degradado	5	44,39	18,17	16,26
Substrato Degradado	6	6,45	64,56	54,49
Substrato Degradado	7	31,13	61,72	87,46
Substrato Degradado	8	74,72	65,39	97,83
Substrato Degradado	9	71,31	62,09	31,16
Substrato Degradado	10	62,36	53,01	82,92
Substrato Degradado	11	69,17	69,30	87,06
Substrato Degradado	12	65,66	63,33	89,58
Substrato Degradado	13	67,21	58,89	67,27
Substrato Degradado	14	28,51	54,03	19,28
Substrato Degradado	15	19,56	41,75	40,48
Substrato Degradado	16	24,56	62,09	79,73
Substrato Degradado	17	40,93	86,99	57,09
Substrato Degradado	18	43,82	78,86	68,78
Substrato Degradado	19	37,92	49,63	69,22
Substrato Degradado	20	84,60	83,02	90,26
Substrato Degradado	21	55,61	82,07	69,73
Substrato Degradado	22	79,75	88,22	84,98
Substrato Degradado	23	23,97	90,35	88,97
Substrato Degradado	24	53,63	93,14	61,75
Substrato Degradado	25	8,47	26,37	40,55
Substrato Degradado	26	88,71	86,20	92,80
Substrato Degradado	27	20,53	0,00	0,00
Substrato Degradado	28	55,69	18,77	48,50
Substrato Degradado	29	18,04	47,88	21,32
Substrato Degradado	30	40,37	56,05	47,29
Desv Pad		23,30	24,14	26,78
Média		45,84	57,67	58,62
Coef. Var.		50,82	41,86	45,68

Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento (continuação).

Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	1	39,30	57,43	65,60
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	2	60,36	22,09	59,17
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	3	55,37	38,82	77,99
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	4	46,10	82,32	50,56
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	5	73,34	61,00	62,59
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	6	56,45	88,77	78,48
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	7	37,07	53,13	79,88
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	8	20,06	38,44	56,25
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	9	5,84	45,11	54,06
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	10	45,64	82,52	23,07
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	11	37,60	72,99	38,41
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	12	41,32	92,72	58,72
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	13	66,25	90,54	39,85
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	14	58,46	92,73	27,85
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	15	13,31	14,50	51,52
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	16	11,13	39,28	24,85
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	17	30,68	98,64	52,70
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	18	52,93	30,39	26,77
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	19	15,98	25,48	20,23
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	20	8,91	26,02	13,16
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	21	21,21	20,60	19,50
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	22	46,14	50,23	22,96
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	23	71,55	72,91	54,72
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	24	41,51	96,10	58,90
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	25	66,60	90,31	38,62
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	26	56,28	29,64	40,50
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	27	40,87	62,55	54,22
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	28	26,06	15,62	30,21
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	29	26,55	27,39	20,03
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	30	46,23	50,33	23,01
Desv Pad		19,32	27,81	19,45
Média		40,64	55,62	44,15
Coef. Var.		47,53	50,01	44,06

Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento (continuação).

Substrato Regenerado Capoeira	1	90,20	76,28	94,47
Substrato Regenerado Capoeira	2	85,80	94,72	92,21
Substrato Regenerado Capoeira	3	77,32	96,53	88,62
Substrato Regenerado Capoeira	4	93,30	98,43	89,63
Substrato Regenerado Capoeira	5	99,13	71,93	95,63
Substrato Regenerado Capoeira	6	59,51	90,95	98,64
Substrato Regenerado Capoeira	7	89,71	90,78	83,48
Substrato Regenerado Capoeira	8	28,42	66,84	65,31
Substrato Regenerado Capoeira	9	64,21	93,98	92,27
Substrato Regenerado Capoeira	10	71,73	70,30	84,04
Substrato Regenerado Capoeira	11	95,31	86,86	88,73
Substrato Regenerado Capoeira	12	59,12	89,92	99,14
Substrato Regenerado Capoeira	13	56,46	90,66	88,70
Substrato Regenerado Capoeira	14	86,61	92,61	93,57
Substrato Regenerado Capoeira	15	89,35	76,73	94,99
Substrato Regenerado Capoeira	16	84,23	95,48	92,19
Substrato Regenerado Capoeira	17	77,94	96,31	87,13
Substrato Regenerado Capoeira	18	93,54	98,51	89,69
Substrato Regenerado Capoeira	19	99,75	73,08	95,43
Substrato Regenerado Capoeira	20	59,23	90,34	98,35
Substrato Regenerado Capoeira	21	12,97	48,77	57,52
Substrato Regenerado Capoeira	22	68,28	87,58	93,09
Substrato Regenerado Capoeira	23	56,10	90,33	88,02
Substrato Regenerado Capoeira	24	59,95	95,66	77,81
Substrato Regenerado Capoeira	25	72,09	79,52	89,36
Substrato Regenerado Capoeira	26	86,73	89,00	80,88
Substrato Regenerado Capoeira	27	85,04	87,96	73,61
Substrato Regenerado Capoeira	28	66,06	72,49	82,30
Substrato Regenerado Capoeira	29	76,13	83,18	60,90
Substrato Regenerado Capoeira	30	66,89	66,82	88,41
Desv Pad		19,91	11,94	10,56
Média		73,70	84,75	86,81
Coef. Var.		27,01	14,08	12,16

Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento (continuação).

Solo com Pasto	5	78,71	68,46	81,56
Solo com Pasto	6	87,99	86,60	62,87
Solo com Pasto	7	81,57	72,07	78,59
Solo com Pasto	8	57,14	71,75	91,87
Solo com Pasto	9	71,59	91,02	80,79
Solo com Pasto	10	85,88	96,71	93,54
Solo com Pasto	11	87,76	97,95	58,32
Solo com Pasto	12	84,58	99,14	79,35
Solo com Pasto	13	96,13	71,77	76,33
Solo com Pasto	14	91,17	97,53	86,53
Solo com Pasto	15	79,29	82,41	73,68
Solo com Pasto	16	64,11	93,49	83,04
Solo com Pasto	17	84,84	66,57	65,85
Solo com Pasto	18	83,58	94,08	92,92
Solo com Pasto	19	84,07	95,38	84,94
Solo com Pasto	20	49,02	85,88	88,45
Solo com Pasto	21	73,62	77,58	84,43
Solo com Pasto	22	40,51	78,94	92,60
Solo com Pasto	23	71,08	74,34	91,58
Solo com Pasto	24	72,28	91,35	81,25
Solo com Pasto	25	87,62	97,83	94,31
Solo com Pasto	26	84,29	98,41	97,24
Solo com Pasto	27	81,70	96,78	76,52
Solo com Pasto	28	96,54	71,91	76,65
Solo com Pasto	29	40,78	79,67	95,57
Solo com Pasto	30	54,71	56,85	73,41
Desv Pad		15,80	11,62	10,08
Média		75,31	83,83	82,42
Coef. Var.		20,98	13,86	12,23

Anexo 4. Dados do experimento de estabilidade dos agregados do solo sob simulador de chuva e seus coeficientes de variação, por tratamento (continuação).

Solo sob Cerrado	1	49,65	70,79	75,04
Solo sob Cerrado	2	61,24	71,21	84,96
Solo sob Cerrado	3	79,16	85,88	87,39
Solo sob Cerrado	4	49,10	86,01	89,13
Solo sob Cerrado	5	73,20	76,58	84,41
Solo sob Cerrado	6	40,24	78,86	92,01
Solo sob Cerrado	7	13,05	31,52	69,39
Solo sob Cerrado	8	64,15	93,69	57,08
Solo sob Cerrado	9	83,35	63,16	66,38
Solo sob Cerrado	10	61,02	82,36	91,80
Solo sob Cerrado	11	91,80	83,38	93,63
Solo sob Cerrado	12	65,10	77,21	93,98
Solo sob Cerrado	13	90,54	95,42	47,27
Solo sob Cerrado	14	52,73	88,99	66,70
Solo sob Cerrado	15	47,64	85,50	90,22
Solo sob Cerrado	16	73,44	81,53	90,82
Solo sob Cerrado	17	71,35	89,49	99,61
Solo sob Cerrado	18	56,20	82,36	94,39
Solo sob Cerrado	19	58,40	71,53	93,02
Solo sob Cerrado	20	77,39	79,61	85,98
Solo sob Cerrado	21	70,00	96,48	75,86
Solo sob Cerrado	22	78,19	89,56	95,09
Solo sob Cerrado	23	63,17	92,55	93,23
Solo sob Cerrado	24	58,28	94,37	76,77
Solo sob Cerrado	25	50,57	83,98	90,00
Solo sob Cerrado	26	45,34	83,83	80,94
Solo sob Cerrado	27	78,32	71,30	98,20
Solo sob Cerrado	28	49,17	76,39	83,63
Solo sob Cerrado	29	57,21	86,25	84,67
Solo sob Cerrado	30	63,61	89,75	97,26
Desv Pad		16,38	12,51	12,6
Média		62,42	81,32	84,29
Coef. Var.		26,23	15,38	14,95

Anexo 5. Dados brutos da comunidade bacteriana, respiração basal, carbono da biomassa e quociente metabólico, seguido de seus coeficientes de variação, por tratamento.

Tratamentos	Bactérias (ufcs)	Resp. Basal (mgCo ²)	CBM (µgC g ⁻¹)
Substrato degradado	1801	9,9	65,58
Substrato degradado	1027	10,9	42,61
Substrato degradado	1178	11,4	62,86
Substrato degradado	1407	15,7	34,51
Substrato degradado	810	7,4	75,9
C.V.	30,51	27,28	30,45
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	362600	46,3	157,5
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	278700	40,4	155,6
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	257100	54,1	194,96
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	160100	37,7	169,27
Substrato Deg. + Lodo + Eucalipto	828700	48,6	187,39
C.V.	69,51	14,4	10,21
Substrato Reg. Capoeira	64300	28	116,48
Substrato Reg. Capoeira	12510	21,3	106,6
Substrato Reg. Capoeira	23960	26,7	66,39
Substrato Reg. Capoeira	36010	31,3	104,57
Substrato Reg. Capoeira	18460	29	154,88
C.V.	66,06	13,69	28,80
Solo com pastagem	1016000	92,1	280,27
Solo com pastagem	472000	70,6	377,23
Solo com pastagem	1497000	63,6	304,26
Solo com pastagem	1545000	54,9	303,46
Solo com pastagem	699000	76,2	374,85
C.V.	45,44	19,6	13,69
Solo sob cerrado	589000	117,6	505,9
Solo sob cerrado	270000	78,9	443,28
Solo sob cerrado	820000	85,7	292,38
Solo sob cerrado	293000	66,9	325,85
Solo sob cerrado	1005000	71,6	426,28
C.V.	54,14	23,80	22,03

7. **BIBLIOGRAFIA CITADA**

- ADREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; PEGORINI; LARA, A.I.A. A reciclagem agrícola do lodo de esgoto e a gestão do processo em estações de tratamento de esgoto. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE AGROPÓLOS E PARQUES TECNOLÓGICOS AGROINDUSTRIAIS, 1999, Barretos. *Anais eletrônicos...*, 1999, v.1, p. 325-327.
- AGNELLI, A.; UGOLINI, F.C.; CORTI, G.; PIETRAMELLARA, G. Microbial biomass-C and basal respiration on fine earth and highly altered rock fragments of two forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Florença, v. 33, p. 613-620, 2001.
- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. (Orgs.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1998. p. 214-219.
- ALVARENGA, M.I.N., SIQUEIRA, J.O. & DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ALVES, M.C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. Tese (Livre Docência), Ilha Solteira, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, UNESP. 2001. 83 p.
- ALVES, M.C. & SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- ANGERS, D.A. & VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. **Soil Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, January-February, 1992.
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M.L.P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 7-12, 1984.
- AZEVEDO, A.C. de. Inferências sobre a gênese de agregados em Latossolo Vermelho Distroférico baseadas na distribuição de agregados. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v. 2, n. 1, p. 50-53, 2003.
- BALDOCK, J.A. & KAY, B.D. Influence of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of a silt loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 67, p. 501-511, 1987.
- BARBOSA, G. M. de Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Revista Técnica da Sanepar - Sanare**, v. 17, p. 94-101, 2002.

- BAVER, L.B. **Soil physics**. 4 ed. New York: J. Willey, 1972. 498 p.
- BENITO RUEDA, E. & DIAZ-FIERROS VIQUEIRA, F. Estudio de los principales factores que intervienen la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v. 48, p. 229-253, 1989.
- BERTIOL, W. & CAMARGO, O.A. **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BOGNOLA, I.A., MAIA, C.M.B.F., DEDECEK, R.A., ANDRADE, G.C., MEHL, H.U., SANS, L.M. & PEIXOTO, R.T.G. Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, Latossolo Vermelho-Escuro sob plantios de *E. dunnii*. Campinas: Emprapa-NMA, dez. 1998. 3 p. (Comunicado Técnico 4)
- BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R. & GUIMARÃES, E.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo em função do uso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Porto Alegre, 1995, *Anais...* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 140.
- BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R. & GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: SIMPÓSIO SULAMERICANO, 1. E SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p. 563-568.
- BORNEMISZA, E. **Introducción a la Química de Suelos**. Washington, D.C. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos (OEA), 1982. 74 p.
- BORTOLETO, E.M. A implantação de grandes hidrelétricas: desenvolvimento, discurso e impactos. **Geografares**, Vitória, n. 2, p. 5-61, 2001.
- BOSSUYT, H.; DENEFF, K.; SIX, J.; FREY, S.D.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. **Applied Soil Ecology**, Bélgica, v. 16, p. 195-208, 2001.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. FIGUEIREDO FILHO, A.B.N. (Trad.). 7ª ed., Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 647 p.
- BRANDÃO, E.M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E.J.B. N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 1-15.
- BRANDINI, O.L. **Tipologia e distribuição dos processos erosivos do município de Suzanópolis, SP**. Monografia (Conclusão do curso de Geografia), Três Lagoas, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2000, 40 p.

- CAMARGO, O.A., MONIZ, A.C., JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análises química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim técnico, 106)
- CARON, J.; ESPINDOLA, C.R. & ANGERS, D.A. Strutural stability during rapid wetting: influence on some aggregate properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 901-908, 1996.
- CARVALHO, J.C.B. de. **Identificação de assoreamento em um canal de uma microbacia hidrográfica de 2ª ordem, no município de Ilha Solteira, SP.** Monografia (Especialização em Geografia), Três Lagoas, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2004. 23 p
- CASSETTE, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1995. 147 p.
- CASTRO, L.A.R. de. Efeito do lodo de esgoto como recuperador de áreas degradadas com finalidade agrícola. In: V SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2002, Belo Horizonte. Anais...2002, p. 234.
- CASTRO, O. M. de. Avaliação de sistemas de manejo do solo. In: SILVEIRA, G.M. da (Org.). **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola.** Campinas: Fundação Cargill, p. 34-38, 1990.
- CHEN, G.; ZHU, H.; ZHANG, Y. Soil microbial activities and carbon and nitrogen fixation. **Research in Microbiology**., v. 154, p. 393-398, 2003.
- CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 197-201, 1984.
- COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto.** Tese (Doutorado),Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.2005. 82 p.
- CORRÊA, A. Coluna do prof. Altir Corrêa: prejuízos com as perdas de solo nas áreas agrícolas. Recuperado em 25 de set 2004: www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna14/coluna14.html
- CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, 2002.
- CORRÊA, R.S. & MELO FILHO, B. (Orgs.). **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Paralelo, 1998. 178 p.
- COURTNEY, F.M. & TRUDGILL, S.T. **The soil: An introduction to soil study.** London: Edward Arnold, 1984, 2nd ed., 123 p.
- DECHEN, S.C.F. O estudo da agregação do solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n. 1, p. 8-12, 1994.

- DEMATTE, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus Experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade da ESALQ/USP, 1980. 44 p.
- DENGENS, B.P.; SPARLING, G.P. & ABBOTT, L.K. The contribution from, hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures. **European Journal of Soil Science**, Nedlands (Australia), v. 45, p. 459-468, 1994.
- DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. Aspectos agronômicos. In: ADREOLI, C.V. & LARA, A.I. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar/Finep, 1999. 228 p.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 199-238, 1988.
- DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 87-100, 1991.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Special Publication, Madison, ASA, CCSA, SSSA, n. 35, p. 3-21, 1994.
- DUFRANC, G. **Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos Vermelhos em plantio direto no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Campinas, Instituto Agronômico. 143 p., 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412 p.
- ESPINDOLA, C.R. & GALHEGO, H.R. Pseudo-partículas texturais em solos basálticos da região central do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador, 1981. Resumos... Salvador: SBCS, 1981. p.22-33.
- ESPINDOLA, C.R.; MELO, W.J. & LONGO, R.M. Forest and soil degradation by tin minering in the Sud-West amazonic basin. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM MANAGING FOREST SOIL FOR SUSTAINING PRODUCTIVITY, Vila Real (Portugal), 2000. *Abstracts...* Vila Real, p. 213-214, 2000.
- ESPINDOLA, C.R. & SANCHES, H.C. Distribuição das partículas primárias e secundárias em latossolos submetidos a distintos usos e manejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999. *Anais ...* Brasília: SBCS, 1999. (CD ROM)
- ESPINDOLA, C.R.; SOARES, P.R.B. & ARRUDA VEIGA, R.A. Degradação dos solos por processos erosivos na bacia hidrográfica da UHE de Porto Primavera. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Florestais (FEPAF), 1998. 82 p.

- ESPINDOLA, C.R. & TERESO, M.J.A. A pesquisa em desenvolvimento rural sustentável e a necessidade nacional de formação de recursos humanos habilitados. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, São Paulo, 1997. Instituto de Estudos Avançados/USP, 1997, p. 229-238.
- FERNANDES, M.R. **Alterações na estrutura de Latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola.** Dissertação (Mestrado). Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1993. 186 p.
- FERREIRA, C.F., ADREOLI, C.V., PEGORINI, E.S., CARNEIRO, C. & SOUZA, M.L.P. Efeito de diferentes dosagens de lodo de esgoto e fertilização química sobre a disponibilidade de Fósforo no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Londrina, PR, 2001. 6 p.
- FREGONEZI, G.A.F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M.F. & MEDINA, C.C. Modificações morfológicas e físicas de um Latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1017, 2001.
- FREITAS, P.L. de. Manejo físico do solo. In: COSTA, C.V. & BORGES, L.C.V. (Orgs.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO. Campinas: Fundação Cargill, p.118-139, 1992.
- FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte de Geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Ciência ambiental). Piracicaba. ESALQ, Universidade de São Paulo. 2002. 118 p.
- GALDOS, M.V., DE MARIA, I.C. & CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 569-557, 2004.
- GRAZIANO NETO, F. **Questão agrária e ecologia. Crítica da moderna agricultura.** São Paulo: Brasiliense, 1986. 154 p.
- GREENLAND, D.J. Interaction between clays and organic compounds in soils. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. **Soils and Fertilizers**, v. 28, p. 415-425, 1965.
- GREGO, C.R. **Recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro de uma área degradada usada para construção da barragem de Ilha Solteira-SP.** Monografia (Conclusão do curso de Agronomia), Ilha Solteira, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, UNESP. 1996.60 p.
- GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 13, p. 201-213, 1960.
- GROHMANN, F. Porosidade. In: MONIZ, A.C. (Org.). **Elementos de Pedologia.** São Paulo: Ed. USP, Cap.6, p. 77-84, 1972.
- GROHMANN, F. & CONAGIN, A. Técnica para estudo da estabilidade de agregados do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 13, p. 329-343, 1960.

- GUÉRIF, J. Compactage d'un massif d'agrégats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquée. **Agronomie**, Avignon, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1982.
- GUGGENBERGER, G.; ELLIOT, E.T.; FREY, S.D.; PAUSTIAN, K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland amended with starch. **Soil Biology & Biochemistry**, Fort Collins, v. 31, p. 407- 419, 1999.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 107-169, 1966.
- JAVAREZ JÚNIOR, A.; GUIMARÃES, E.C.; BONI, N.R. **Efeito do teor de umidade da amostra nos resultados analíticos de densidade do solo e estabilidade de agregados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., *Anais...* Viçosa, p. 220. 1995.
- JORGE, J.A., CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 237-240, 1991.
- KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. In: STEWART, B.A. **Advances in Soil Science**, Canadá, University of Guelph, v. 12, p. 1-52 p, 1990.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E. (Eds.). **Methods of soil analysis – physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, p. 499-510, 1965. (Agronomy Series, 9)
- KEMPER, W.D. & KOCH, J. Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. Washington, D.C., Agricultural Research Service-United States Department of Agriculture, 1966. 52 p. (Technical Bulletin, 1355)
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2ª ed. Madison: American Society of Agronomy, v. 1, 1986. p. 425-441.
- KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia – Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: **Handbuch der Klimatologie**, Bd. 1, Teil C/F. Berlin: Gebruder Borntrager, 1936. 252 p.
- LAL, R.; PIRCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F.J. (Eds). **Soil managment for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p. 1-5, 1991.
- LANDERS, J.N. **Históricos, características e benefícios do Plantio Direto**. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, ABEAS/UnB, 2005. Recuperado em 22 Set. 2005: www.abeas.com.br/downloads/plantiodiretomod1.pdf
- LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

- LONGO, R.M., ESPÍNDOLA, C.R. & RIBEIRO, A.I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em área de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.
- LOPES, A.S. & GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise de solo – Conceitos e Aplicações**. 3ª ed. São Paulo: Associação Nacional para difusão de adubos - ANDA. 1989. 64 p.
- LOPES, A.S. **Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. *Anais...* Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 347-82.
- LOPES, E.S. Alguns aspectos da microbiologia do solo. In: MONIZ, A.C. (Org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. USP, p. 257-271, 1972.
- LUPWAYI, N.Z.; ARSHAD, M.A.; RICE, W.A. & CLAYTON, G.W. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. **Applied Soil Ecology**, Estados Unidos, v. 16, p. 251-261, 2001.
- MARTINS, J. de S. **A chegada do estranho**. São Paulo: Hucitec, 1993. 179 p.
- MATHIEU, C. & PIELTAIN, F. **Analyse Physique des Sols: Méthodes Choisies**. Paris: Lavoisier Tec & Doc, 1998. 275 p.
- MEDINA, H.P. Constituição Física. In: MONIZ, A. C. (Org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. USP, 1972. p. 11-28.
- MEESTER, T.; JUNGRIUS, P.D. The relationship between the soil erodibility factor K (Universal Soil Loss Equation), aggregate stability and micro - morphological properties of soils in the Hornos area, S. Spain. **Earth Surface Processes**, Wageningen, v. 3, p. 379-391, 1978.
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 901-909, 2003.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W. & CAMARGO, O.A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.
- MENDONÇA, F. **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 1998. 147 p.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Governo Federal). Legislação < Meio Ambiente e ecossistema < Leis e portarias. Recuperado em 20 de março de 2006: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/15178.html>
- MONTEIRO, M.T. & GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono, nitrogênio e atividade microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 819-826, 2004.

- MORAES, A.C.R. de. **Capitalismo, Geografia e Meio Ambiente**. Tese (Livre Docência), São Paulo, FLCH, Universidade de São Paulo, 2000. 347 p.
- NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C. & OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 385-392, 2004.
- NDAW, S.M., SANTOS, M.L. dos, PAULINO, G.M. & GAMA-RODRIGUES, E.F. da. Biomassa e atividade microbiana em solos sob cana, pasto e floresta na região norte Fluminense, RJ. In: V SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2002, Belo Horizonte, v. 1. p. 249-251.
- NEVES, M.C.P. Como os microrganismos do solo obtêm energia e nutrientes. In: CARDOSO, E.J.B.N. (Org.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 17-32.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 327-336, 2004.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2ª ed. Jaboticabal: Funep, 1992, 201 p.
- PALADINI, F. L. S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.
- PEREIRA, J.; BURLE, M. L. & RESCK, D. V. Adubos verdes e sua utilização no Cerrado. In: COSTA, C. V. & BORGES L. C. V. (Orgs). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Goiânia, *Anais...*Campinas, SP: Fundação Cargill, p.140-154, 1992.
- RAIJ, B. van, ANDRADE, J. C. de, CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. (Eds) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agronômico, Campinas, 2001. 285 p.
- RANJARD, L. & RICHAUME, A. Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. **Research in Microbiology**. v.. 152. 707-716 p., 2001.
- ROSS, J. L. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do departamento de Geografia**. São Paulo, FFCH/USP, n. 9, p. 65-75, 1995.
- ROTH, C. H. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, Amsterdam, v.12, p.79-85, 1985.
- ROTH, C. H. **Relatório sobre a metodologia utilizada na análise dos fatores da estabilidade de agregados**. Cooperação científica: Instituto Agronômico do Paraná e Technische Universität Berlin, Berlin, 1988. 8 p.

- RUELLAN, A. Pedologia e desenvolvimento: A ciência do solo a serviço do desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, *Anais...* Campinas, p. 69-74, 1988.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics.** Estados Unidos: Wiley-interscience, 1976. 607 p.
- SCHALLER, F.W. & STOCKINGER, K.R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. *Soil Sci. Soc. am. Proc.* p. 310-313. 1953.
- SENGIK, E. **Uma visão global de solos.** Recuperado em 06 Jun. 2005: www.nupel.uem.br/visaoglobal-2003.pdf
- SILVA, C. G. da; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T & CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005.
- SILVA, C. C da. & SILVEIRA, P. M. da. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Ciência Agrotecnológica**, v.26, n.3, p. 505-515, Lavras, 2002.
- SILVA, I. de F. da & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 113-117, 1997.
- SILVA, V. R. da; REINERT, J.; CARNELUTTI FILHO, A.; BORGES, D. F. Efeito da condição inicial da amostra de solo Podzólico Vermelho-Amarelo nos resultados da agregação obtidos pelo método de Kemper e Chepil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 8, Águas de Lindóia, 1996. *Anais...* Águas de Lindóia, SBCS, 1996. CD – ROM.
- SIQUEIRA, J. O. Interação planta-microrganismos: uma visão global. In: HUNGRIA, M. BATOLA, E. L., COLOZZI-FILHO, A. & ANDRADE, D. de S. (Orgs). SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO – Microbiologia do solo: desafios para o século XXI, 1994, Londrina, *Anais...* Londrina, PR. IAPAR/EMBRAPA-CNPS, p. 490. 1995.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M. & ARAUJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo – perspectiva ambiental.** EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão; Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Brasília: EMBRAPA, 1994.142 p.
- SOUZA, M. D. de. Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudo de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 20 p., 2004. (Embrapa Meio Ambiente, Documento 37).
- SOUZA, Z. M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos.** Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção). Ilha Solteira, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, UNESP, 2000. 127 p

- TERESO, M. J. A. & ESPINDOLA, C. R. A função da Engenharia Agrícola no contexto da evolução da agricultura brasileira. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 17, p. 42-49, 1999.
- THEODORO, V.C.A., ALVARENGA, M. I., GUIMARÃES, R.J. & MOURÃO JÚNIOR, M. Carbono da biomassa microbiana sob mata nativa em agrossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 147-153, 2003.
- TSAI, S. M.. Efeito de fatores do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N. et al (Org.) **Microbiologia do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p. 59-72, 1992.
- UNESP (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA). Dados agroclimatológicos. Departamento de Fitossanidade, Engenharia rural e Solos – Área de hidráulica e irrigação. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP. Recuperado em 22 de abril de 2005: www.agr.feis.unesp.br/ilhadados.php
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**., v.19, p. 703-707, 1987.
- VIEIRA, S. R.; LUCARELLI, J. R. F.; MARTINS, A. L. M.; LOMBARDI NETO, F. Calibração de um simulador de chuvas de braços rotativos usando técnicas de geoestatística. In: IX REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, SBCS, Unesp, Jaboticabal, p. 33. 1992.
- WARDLE, D. A. & HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R. S. & HUNGRIA, M. **Microbiologia de importância agrícola**. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão; Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Brasília: EMBRAPA, p. 195-213, 1994.
- WISCHMEIER, W. H.; JONHSON, C. B. & CROSS, B. V. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n. 5, p. 189-193, 1971.
- WOHLENBERG, E. V. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.
- ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da & NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411., 2003.