



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**SUSTENTABILIDADE E QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR ORGÂNICA E CONVENCIONAL.**

**FERNANDA RIBEIRO DE ANDRADE OLIVEIRA**

**Araras**

**2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**SUSTENTABILIDADE E QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR ORGÂNICA E CONVENCIONAL.**

**FERNANDA RIBEIRO DE ANDRADE OLIVEIRA**

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO JOSÉ VALARINI

CO-ORIENTADOR: PROF. Dr. LUIZ ANTONIO MARGARIDO

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Agroecologia e  
Desenvolvimento Rural como requisito  
parcial à obtenção do título de  
**MESTRE EM AGROECOLOGIA E  
DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

O48sq

Oliveira, Fernanda Ribeiro de Andrade.

Sustentabilidade e qualidade do solo em propriedades de cana-de-açúcar orgânica e convencional / Fernanda Ribeiro de Andrade Oliveira. -- São Carlos : UFSCar, 2009.  
66 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

1. Solos - conservação. 2. Sistemas de produção. 3. Indicadores da qualidade do solo. I. Título.

CDD: 333.7316 (20ª)



**Universidade Federal de São Carlos**

Centro de Ciências Agrárias / Embrapa Meio Ambiente

Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural/PPGADR

**Curso de Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural**

Via Anhangüera, km 174, Caixa Postal 153 - CEP 13600-970 - Araras/SP

Fone (19) 3543-2582 Fax (19) 3543-260012614 – [ppgadr@cca.ufscar.br](mailto:ppgadr@cca.ufscar.br)

---

Araras, 12 de dezembro de 2008.

## Declaração

Declaramos para os devidos fins que a aluna **FERNANDA RIBEIRO DE ANDRADE OLIVEIRA** foi **APROVADA** na Defesa da Dissertação de Mestrado realizada em 12/12/2008.

Titulo da Dissertação: "**Sustentabilidade e Qualidade do Solo em Propriedades de Cana-de-Açúcar Orgânica e Convencional**"

Banca Examinadora: Prof. Dr. Pedro José Valarini (orientador)  
Dra. Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto  
Profa. **Dra. Maria** Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Beskow  
Coordenador do Curso de Mestrado em  
Agroecologia e Desenvolvimento Rural  
CCA/UFSCar - EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Dedico

a todos que de alguma forma  
possibilitaram a elaboração  
deste trabalho e,  
à minha família e amigos,  
pelo amor e constante incentivo.

Minha sincera gratidão.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pag.</b>
INDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	6
2.1 Cultivo de cana-de-açúcar no Brasil.....	6
2.2 Agroecologia.....	8
2.2.1 Agriculturas de base ecológica.....	9
2.3 Qualidade do solo.....	12
2.3.1 Indicadores de qualidade do solo.....	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
3.1 Caracterização das propriedades.....	17
3.2 Avaliação de Impacto Ambiental.....	22
3.3 Indicadores de qualidade do solo.....	26
3.3.1 Indicadores físicos.....	26
3.3.2 Indicadores químicos.....	26
3.3.3 Indicadores bioquímicos.....	27
3.4 Coleta das amostras.....	31
3.5 Análise dos dados.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1 Avaliação de Impacto Ambiental através do APOIA-NovoRural.....	34
4.2 Análises químicas.....	36
4.3 Análises físicas.....	38
4.4 Análises bioquímicas.....	41
4.5 Análise de Componentes Principais (ACP).....	44
5 CONCLUSÕES .....	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
7 APÊNDICE.....	57

**ÍNDICE DE TABELAS**

	Pag.
Tabela 1. Dimensões e Indicadores de Impacto Ambiental do sistema APOIA-NovoRural e unidades de medida utilizadas para caracterização em levantamento de campo e laboratório.....	24
Tabela 2. Índices de Impacto Ambiental segundo as dimensões do sistema APOIA-NovoRural de seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	35
Tabela 3. Caracterização química do solo, na profundidade de 0-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	37
Tabela 4. Granulometria e argila dispersa do solo, na profundidade de 0-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	38
Tabela 5. Estabilidade de agregados (Ea), densidade (Ds), compactação (Cs) e umidade (Umi) na profundidade de 0-10 e 10-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	40
Tabela 6. Quantidade de desidrogenase, polissacarídeo e carbono da biomassa microbiana do solo, na profundidade de 0-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Visão geral do talhão de cultivo de cana-de-açúcar (SC1). Piracicaba-SP.....	18
Figura 2. Áreas de mata (testemunha) da propriedade 1 (T1). Piracicaba-SP.....	18
Figura 3. Abundância de restos culturais na propriedade 2 (SO2). Socorro-SP.....	19
Figura 4. Visão geral da testemunha (T2). Socorro-SP.....	19
Figura 5. Testemunha da propriedade 3 (T3). Jaguariúna-SP.....	20
Figura 6. Testemunha 4.....	20
Figura 7. Talhão de cana-de-açúcar da propriedade 4 (SC4) e ao fundo testemunha 4 (T4). Holambra-SP.....	20
Figura 8. Pastagem, talhão de cana-de-açúcar e testemunha ao fundo. Propriedade 4 (T4). Holambra-SP.....	20
Figura 9. Talhão de cana-de-açúcar da propriedade 6 (SC6). Ribeirão Preto-SP.....	22
Figura 10. Divisória entre propriedade 5 e 6 com barreira de bananeiras e carreador.....	22
Figura 11. Coleta de solo em anéis volumétricos para análise de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	32
Figura 12. Coleta de solo semi-deformado para análise de estabilidade de agregados (Ea).....	32
Figura 13. Avaliação da compactação do solo com penetrômetro eletrônico.....	32

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 1. Diversidade de uso do solo e área em hectare das propriedades avaliadas.....	21
Gráfico 2. Expressão gerada através do gráfico para o cálculo da concentração de polissacarídeos produzida.....	31
Gráfico 3. Avaliação de Impacto Ambiental pelo sistema APOIA-NovoRural em seis propriedades no Estado de São Paulo.....	34
Gráfico 4. Macroporosidade (macro), microporosidade (micro) e porosidade total (total) na profundidade de 0-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo. ....	40
Gráfico 5. Quantidade de biomassa microbiana do solo (Bm) em função das épocas de avaliação, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	43
Gráfico 6. Variação percentual dos teores de alguns indicadores nos sistemas orgânicos (SO) e convencionais (SC) em relação aos teores nas testemunhas.....	44
Gráfico 7. Resultado da ACP em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.....	46

## ÍNDICE DE APÊNDICES

Apêndice 1. Resultados numéricos e ponderação para avaliações parciais do Sistema APOIA-NovoRural.....	58
Apêndice 2. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 1 .....	60
Apêndice 3. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 2.....	61
Apêndice 4. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 3.....	62
Apêndice 5. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 4.....	63
Apêndice 6. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 5.....	64
Apêndice 7. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 6.....	65
Apêndice 8. Mapa de correlação dos indicadores avaliados.....	66

## **SUSTENTABILIDADE E QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES DE CANA-DE-AÇUCAR ORGÂNICA E CONVENCIONAL.**

**Autor: FERNANDA RIBEIRO DE ANDRADE OLIVEIRA**

**Orientador: Prof. Dr. PEDRO JOSÉ VALARINI**

**Co-orientador: Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO MARGARIDO**

### **RESUMO**

A avaliação da qualidade do solo é uma importante estratégia, pois permite aos produtores direcionar técnicas agrícolas para melhorias constantes visando estabelecer e manter produtividades adequadas ao equilíbrio de um sistema auto-sustentável. Este trabalho avaliou o impacto ambiental das atividades rurais através do sistema APOIA-NovoRural, bem como a influência de diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar na qualidade do solo, através de atributos físicos, químicos e bioquímicos. Foram estudadas seis propriedades de cultivo de cana-de-açúcar para produção de cachaça, nos municípios de Piracicaba, Socorro, Jaguariúna, Holambra e Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo. Em cada propriedade estudaram-se dois tratamentos, solo cultivado com cana-de-açúcar sob sistema orgânico ou convencional e, solo sob mata nativa, tomado como referência. O APOIA-NovoRural indicou melhor desempenho ambiental no sistema orgânico em relação ao convencional, destacando-se as características da ecologia da paisagem e gestão e administração das propriedades. A maioria dos atributos indicou que o manejo realizado nas áreas sob cultivo orgânico contribuiu para a manutenção da qualidade do solo. Entre eles os parâmetros estabilidade de agregados (Ea), matéria orgânica (MO), desidrogenase (Des), polissacarídeo (Poli) e biomassa microbiana (Bm) destacaram-se como sensíveis para indicar modificações no ecossistema. Os valores isolados não serviram como indicadores precisos e

confiáveis das condições do solo. No entanto, quando avaliados em conjunto, via Análise de Componentes Principais (ACP), mostraram-se sensíveis para captar as alterações ocorridas no ambiente devido às diferentes formas de uso do solo. Assim, os atributos selecionados podem fornecer subsídios para o planejamento do uso correto da terra.

Termos de indexação: sistemas de produção, conservação do solo, indicadores físicos, químicos e bioquímicos..

## **SUSTENTABILITY AND SOIL QUALITY IN ORGANIC AND CONVENTIONAL SUGARCANE ESTABLISHMENTS.**

**Author: FERNANDA RIBEIRO DE ANDRADE OLIVEIRA**

**Adviser: Prof. Dr. PEDRO JOSÉ VALARINI**

**Co-adviser: Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO MARGARIDO**

### **ABSTRACT**

Soil quality evaluation is an important strategy, as it allows producers to focus agriculture techniques to constantly develop and maintain adequate, self-sustainable productions equilibrium. This study evaluated rural activities environmental impact by the system APOIA-NovoRural, as well as the influence of different sugarcane production systems on soil quality through physical, chemical and biochemical indicators. Six sugarcane aguardente production establishments were selected in Piracicaba, Socorro, Jaguariúna, Holambra e Ribeirão Preto, in the state of São Paulo, Brazil. In each property two treatments were studied, sugarcane cultivated soil under organic or conventional system and, soil under native forest, taken as basal reference. The APOIA-NovoRural indicated better environmental performance on the organic than conventional system, emphasizing the establishments landscape ecology and administration. Most indicators pointed out better soil conservation contribution by organic system. Among them, aggregate stability (Ea), organic matter (MO), dehydrogenase (Des), polysaccharides (Poli) and microbial biomass (Bm) can be used as system sustainable indicators. Isolated values don't work as reliable and accurate indicators for soil conditions, however, when evaluated together through Principal Components Analysis (PCA), they are able to show the alterations occurring in the environment due to the different handling of the soil. Thus, the selected attributes can provide subsidy to a correct land use.

Index terms: crop systems, soil conservation; physical, chemical and biochemical indicators.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo tem sido conceituada como a capacidade de funcionar dentro do ecossistema, de modo a sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais (DORAN e PARKIN, 1996). Baseia-se na compreensão do solo como parte de um ecossistema no qual ele desempenha um papel ecológico, como econômico e social (COSTA *et al.*, 2006; VARGAS, 2003).

Práticas e manejos inadequados têm levado solos do mundo todo à degradação e conseqüente perda de qualidade. A perda de qualidade do solo, além de um componente a ele inerente, determinado por suas características físicas, químicas e biológicas, dentro das restrições impostas pelo clima e ecossistema, inclui um componente antrópico determinado pelas decisões de uso da terra e práticas de manejo (DORAN e ZEISS, 2000).

Considerando que o solo constitui-se em um dos principais pilares da sustentabilidade dos agroecossistemas, a avaliação e o monitoramento via indicadores de solo é de fundamental importância, pois permite aos produtores direcionar técnicas agrícolas para melhorias constantes visando estabelecer e manter produtividades de cultivos adequadas ao equilíbrio de um sistema auto-sustentável (VALARINI *et al.*, 2007).

Nesse sentido, alguns indicadores de qualidade do solo têm sido utilizados para avaliar o efeito de diferentes sistemas agrícolas e técnicas, identificando se um agroecossistema está sendo perturbado ou que não é

sustentável do ponto de vista ambiental. Essa avaliação por meio de seus atributos é bastante complexa devido à grande diversidade de uso, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (MENDES *et al.*, 2006).

A comunidade microbiana desempenha um papel fundamental para o funcionamento do solo, pois atua na ciclagem de nutrientes e na matéria orgânica, na degradação de agrotóxicos e na formação e estabilização de agregados. Desse modo, os estudos de qualidade do solo devem, obrigatoriamente, considerar a comunidade microbiana e os processos nos quais ela está envolvida (VARGAS, 2003), destacando-se como indicadores precoces de avaliação da qualidade do solo (VALARINI *et al.*, 2003a).

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, tais como a atividade enzimática, a diversidade e a biomassa microbianas, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola (DORAN e PARKIN, 1996; PEREIRA *et al.*, 2004; CARVALHO, 2005; VALARINI *et al.*, 2007).

A avaliação da biomassa microbiana do solo é útil para obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou devastação de florestas e medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial. Além disso, por refletir a dinâmica da decomposição da matéria orgânica, a biomassa microbiana do solo influencia na disponibilidade de nutrientes para as plantas e altera propriedades físicas do solo. O seu conhecimento é útil ainda quando combinado com outros componentes do solo, como os estudos de interação trófica, funcionamento dos ecossistemas, atividades do solo e produtividade primária, ou mesmo em conjunto com avaliações sobre estresses e alterações ecológicas (SIQUEIRA *et al.*, 1994). No entanto, determinações da biomassa não fornecem indicações suficientes sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo (OLIVEIRA, 2000), sendo importante também avaliar parâmetros que estimem a atividade microbiana, tais como a atividade

enzimática, para verificar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo (ANDRADE e SILVEIRA, 2004; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; BALOTA *et al.*, 2004; SILVEIRA, 2005).

A atividade enzimática do solo geralmente possui forte correlação com o teor de matéria orgânica, propriedades físicas, biomassa microbiana e altera-se antes de outros parâmetros, proporcionando indicações precoces de mudanças na qualidade do solo (NIELSEN e WINDING, 2002). A desidrogenase, por exemplo, está envolvida nos processos oxidativos das células microbianas e reflete a bioatividade geral de grande parte da população microbiana (PERES *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2005).

A comunidade bacteriana age tanto mecanicamente, pelo aumento do número de indivíduos em microporos do solo que ligam à fração mineral, aproximando-a e reorganizando-a de maneira a formar agregados, como quimicamente pela produção de polissacarídeos. Estes aceleram a degradação de substâncias orgânicas novas no solo em substâncias resistentes, como as húmicas, responsáveis pela formação de agregados mais persistentes no solo (DUFRANC *et al.*, 2004). Os polissacarídeos têm sido considerados um indicador bioquímico importante na avaliação da qualidade do solo em sistemas orgânicos e convencionais de hortaliças (VALARINI *et al.*, 2002a, 2004).

A análise química do solo, além de muito útil para estimar o potencial produtivo, fornece informações adicionais sobre a capacidade do solo para manter a produtividade vegetal. Entretanto, isoladamente não traduz a qualidade do solo no sentido mais amplo. Este fato foi demonstrado por Valarini e colaboradores em estudos de impacto ambiental (IA) realizados em propriedades orgânicas e convencionais através do método APOIA-NovoRural (RODRIGUES e CAMPANHOLA, 2003), onde os resultados nos índices de IA não mostraram diferenças entre os solos avaliados apenas pelos indicadores químicos do solo (CAMPANHOLA *et al.*, 2004; VALARINI *et al.*, 2003b).

Alterações nos atributos físicos ou a perda de matéria orgânica do solo podem levar anos para ocorrer de forma significativa, o que talvez revele

tardiamente um estado de degradação do solo (ZILLI, 2003). No entanto, tais avaliações constituem-se em subsídios importantes sobre a qualidade do solo. Leonardo (2003) afirma que a qualidade física do solo pode ser avaliada por indicadores como a taxa de infiltração de água, grau de agregação e dispersão, condição de drenagem, porosidade, água total disponível e resistência do solo à penetração.

A densidade, além de ser um indicador da qualidade física do solo, é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes no perfil do solo com base no seu volume. A porosidade, fração do volume ocupado com solução e ar do solo, é de grande importância aos processos físicos, químicos e biológicos, como infiltração, condutividade, drenagem, retenção de água, difusão de nutrientes, crescimento de microrganismos, raízes e pêlos absorventes (MENDES *et al.*, 2006).

A estabilidade de agregados está relacionada com a resistência do solo à degradação e pode indicar solos menos intemperizados ou mudanças decorrentes do manejo, tanto com relação ao tamanho e estabilidade dos agregados, como em relação à concentração dos agregados em determinada classe de tamanho (BEUTLER *et al.*, 2001). Estes autores citam ainda que a estabilidade de agregados tem sido muito relacionada com o teor de carbono orgânico em culturas anuais e perenes, sendo relatado que o cultivo intensivo provoca redução da estabilidade com aumento da taxa de oxidação da matéria orgânica.

Portanto, cada indicador contribui com relevantes informações, sendo necessária a utilização de mais de um indicador para se fazer qualquer avaliação em um ecossistema. Isso é ratificado por Mesquita (2005) ao enfatizar que nenhum indicador individualmente conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Assim, um número mínimo de indicadores químicos, físicos e biológicos deve ser selecionado e analisado de forma conjunta (CURY, 2002; IMHOFF, 2002, VALARINI *et al.*, 2004, 2007).

Nesse sentido, uma avaliação integrada dos dados pode ser realizada através da Análise de Componentes Principais (ACP), uma técnica de

ordenação que, a partir de um conjunto de variáveis originais, obtêm-se índices que expressam a variabilidade dos dados, sendo estes índices tanto mais eficientes quanto maior for a sua estrutura de correlação com as variáveis originais. Gráficamente, os componentes principais ou fatores que explicam a maior parte da variabilidade dos dados são representados pelos eixos cartesianos (GOMES *et al.*, 2004; VALARINI *et al.*, 2007).

Este trabalho avaliou a influência de diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar para cachaça na qualidade do solo. Utilizou-se o Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental APOIA-NovoRural como instrumento de avaliação de impacto ambiental das atividades rurais e, atributos físicos, químicos e bioquímicos analisados via ACP, a fim de selecionar indicadores sensíveis capazes de mostrar modificações no ecossistema.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Cultivo de cana-de-açúcar no Brasil**

Com base nos princípios da revolução verde, a agroindústria canavieira no Brasil também utilizou métodos de produção que priorizaram, acima de tudo, a máxima produtividade, esquecendo-se dos seus efeitos no ambiente e no meio social.

A participação histórica da cana-de-açúcar no país é de grande importância, fazendo parte da cultura agrícola desde o Império. A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no início do século XVI e já no século XVII tinha a importância na economia da Zona da Mata nordestina, principalmente. Atualmente o Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar. Com solo e clima favoráveis ao seu cultivo, a atividade canavieira é uma das grandes propulsoras da agricultura brasileira. Segundo a estimativa de safra 2008 da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) dos 710,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidas no país, 558,7 milhões de toneladas serão destinadas à indústria sucroalcooleira. O restante, 151,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar serão destinados à fabricação de outros produtos derivados da cana-de-açúcar (Companhia Nacional de Abastecimento, 2008).

Estes valores evidenciam que a agro-industrialização de produtos diferentes do açúcar e álcool, também tem se constituído em uma importante

alternativa de renda e de ocupação. Segundo Cerveira (2002), este segmento é constituído principalmente por pequenos produtores que não possuem sua produção de cana-de-açúcar voltada ao álcool e açúcar industrializados, tendo sua renda mensal ligada à produção de garapa, açúcar mascavo, rapadura e cachaça. Dentre as alternativas ou estratégias para a reprodução da agricultura familiar, a indústria rural configura-se como das mais importantes por contar com a crescente valorização de produtos agro-artesanais por consumidores (OLIVEIRA e RIBEIRO, 2002), principalmente para a cana-de-açúcar que possui baixo retorno econômico quando produzida em pequena escala.

Somente a produção da cachaça, produto alcoólico obtido pela destilação do caldo de cana-de-açúcar, representa no país uma produção oficial de aproximadamente 1,5 bilhões de litros de cachaça por ano, gerando renda para o país. É o destilado mais consumido no país e o terceiro no mundo, com grande potencial para exportação (CARDOSO *et al.*, 2003).

No entanto, inúmeros foram os casos de falência de pequenas agro-indústrias canavieiras em decorrência do aumento do custo de produção, principalmente devido ao preço crescente dos insumos, forçando muitos produtores a mudar de atividade (PRIMAVESI, 1997).

Neste cenário, a mudança de paradigma quanto ao sistema produtivo proporcionou novas perspectivas para retomada da rentabilidade da atividade (CERVEIRA, 2002). A adoção de novas tecnologias, com enfoque agroecológico, é uma alternativa para produção de alimentos de uma maneira mais justa para o agricultor e para as futuras gerações.

Movimentos de agricultura sustentável, como a agricultura orgânica, biodinâmica e natural, propõem soluções para uma produção mais consciente, valorizando os recursos naturais que ainda nos restam. Tem-se buscado e incentivado a adoção de sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, criando-se novos paradigmas tecnológicos na agricultura, baseados na sustentabilidade.

Dessa forma, para manter os solos produtivos de forma sustentável, é necessário utilizar técnicas e desenvolver sistemas agrícolas que permitam

manter ou melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, atentando para a preservação do teor de matéria orgânica, proteção do solo contra impacto das chuvas, manutenção da taxa de infiltração da água e da porosidade do solo, entre outros fatores.

## **2.2 Agroecologia**

A Agroecologia é uma ciência ou campo de conhecimento de caráter multidisciplinar que apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias que nos permitem estudar, analisar, desenhar e avaliar agroecossistemas. Estabelece bases para a construção de estilos de agriculturas sustentáveis e de estratégia de desenvolvimento rural sustentável (CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

Esse conjunto de conhecimentos, técnicas e saberes incorporam princípios ecológicos e valores culturais às práticas agrícolas que, com o tempo, pela capitalização, simplificação e tecnificação da agricultura, perderam características ecológicas e culturais (LEFF, 2002). Há um grupo de pesquisadores que incorpora também a perspectiva sociológica à Agroecologia, pois entende que esta tem uma natureza social (SEVILLA GUZMÁN, 2002).

Do ponto de vista da Agroecologia, os primeiros objetivos não são a maximização da produção, mas sim a otimização do equilíbrio do agroecossistema como um todo, o que significa maior ênfase no conhecimento, na análise e na interpretação das complexas relações existentes entre as pessoas, os cultivos, o solo, a água e os animais (CAPORAL e COSTABEBER, 2002).

Estes mesmos autores reforçam que a Agroecologia não pode ser confundida como um modelo de agricultura, com adoção de determinadas práticas agrícolas ou oferta de produtos ecológicos (CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

Altieri (2002) ressalta que um aspecto fundamental no desenho de agroecossistemas sustentáveis é a compreensão de que duas funções

existentes nos ecossistemas devem estar presentes na agricultura: biodiversidade de animais, plantas e microrganismos e ciclagem biológica de nutrientes e da matéria orgânica. O autor explica que a principal estratégia da agricultura sustentável é reconstituir a diversidade agrícola no tempo e no espaço, por meio das rotações de culturas, policultivos, cultivos de cobertura, integração entre vegetais e animais, etc.

Para Gliessman (2000), a sustentabilidade é a condição onde é possível a produção sustentável, ou seja, a possibilidade de colher perpetuamente biomassa de um sistema, porque sua capacidade de se renovar ou ser renovado não é comprometida. Nessa visão o autor afirma que com o conhecimento científico atual não é possível saber com certeza se uma determinada prática de manejo é ou não é sustentável. No entanto, é possível demonstrar que uma prática está se afastando da sustentabilidade.

### **2.2.1 Agriculturas de base ecológica**

O termo “agriculturas de base ecológica”, sugerido por Caporal e Costabeber (2004), tem a intenção de distinguir os estilos de agricultura resultantes da aplicação dos conceitos da Agroecologia do modelo convencional de agricultura. Modelos agroecológicos de agricultura, teoricamente, possuem maior grau de sustentabilidade a médio e longo prazo, contrastando com a agricultura convencional, mais dependente de recursos naturais não renováveis. Esse termo diferencia ainda, a agricultura agroecológica de correntes como a “revolução duplamente verde”, que incorpora parcialmente elementos ambientalistas ou conservacionistas nas práticas agrícolas convencionais.

Além disso, pretende diferenciar agriculturas de base ecológica de estilos de agricultura alternativa que, apesar de atender certos requisitos sociais ou ambientais, não necessariamente utilizam orientações mais amplas provenientes do enfoque agroecológico. Uma agricultura que simplesmente não utiliza agrotóxicos ou fertilizantes químicos sintéticos por si só não pode ser caracterizada como agroecológica, uma vez que pode assim ser por falta

de acesso a insumos modernos por motivos econômicos ou falta de informação (CAPORAL e COSTABEBER, 2004). Portanto, sistemas orgânicos de produção não são necessariamente agroecológicos.

A transição ao sistema agroecológico pode ser interna ao sistema produtivo, quando se reduz e racionaliza insumos químicos, quando substitui insumos químicos e externos ao sistema, e quando maneja a biodiversidade e redesenha os sistemas produtivos de forma sustentável. Também pode ser externa ao sistema produtivo quando expande a consciência pública, organiza os mercados e infra-estruturas, provoca mudanças institucionais (pesquisa, ensino e extensão) e ajuda na formulação de políticas públicas integradas e sistêmicas sob controle social, geradas a partir de organizações sociais conscientes e propositivas (DIDONET *et al.*, 2006).

A Agricultura Orgânica, entre as agriculturas de base ecológica, teve grande destaque no Brasil e em outros países. Darolt (2002) afirma que a Agricultura Orgânica da atualidade representa a fusão de diferentes correntes de pensamento, que basicamente resultam de quatro grandes vertentes, as agriculturas Biodinâmica, Biológica, Orgânica e Natural. O ponto comum entre as diversas correntes que formam a base da Agricultura Orgânica é a busca de um sistema de produção sustentável no tempo e no espaço, mediante o manejo e a proteção dos recursos naturais, sem a utilização de produtos químicos agressivos à saúde humana e ao meio ambiente, mantendo o incremento da fertilidade e vida dos solos, a diversidade biológica e respeitando a integridade cultural dos agricultores.

Basicamente, a Agricultura Orgânica tem, como princípios, a aplicação no solo de resíduos orgânicos vegetais e animais produzidos na propriedade agrícola, com o objetivo de manter o equilíbrio biológico e a ciclagem de nutrientes. Assim, ela não aceita o uso de adubos industriais de alta solubilidade e nem agrotóxicos. A adubação química é atendida pelo uso de rochas de baixa solubilidade e uso de diferentes culturas no sistema agrícola. Frequentemente utilizam-se leguminosas com intuito de fixar o nitrogênio atmosférico, além de gramíneas e árvores, com o objetivo de otimizar a

ciclagem de fósforo. É estimulado o uso de recursos locais, sempre que possível, por meio da integração das atividades de produção animal com as de produção vegetal, visando à obtenção da máxima ciclagem de nutrientes no sistema de produção (GLIESSMAN, 2000).

Dentro dessa visão, existe a preocupação com a auto-suficiência da propriedade, buscando produzir o máximo possível de insumos utilizados no processo produtivo dentro da própria propriedade e, com isso, uma entrada mínima de insumos externos. Além disso, a análise das vantagens e desvantagens não é feita considerando-se apenas um produto ou atividades isoladas, mas sim sistemas de produção, que são entendidos como uma combinação de diferentes cultivos ou criações, que se complementam entre si dentro da propriedade (PAULUS *et al.*, 2000).

O balanço energético dos sistemas orgânicos é geralmente positivo, porque os insumos são naturais e os gastos com petróleo são reduzidos. A produtividade da agricultura orgânica é tão alta ou até mais alta do que a da agricultura convencional (PASCHOAL, 1994). Eficiência energética, que hoje se considera fator mais importante do que produtividade, é comumente maior nos sistemas orgânicos do que nos convencionais, o que significa que o produtor orgânico é capaz de produzir alimentos, tanto quanto ou mais do que o convencional, a custos muito mais baixos (SOUZA, 2006).

O agroecossistema não é constituído apenas pelas culturas vegetais e animais exploradas economicamente, mas a totalidade dos componentes físicos, químicos e biológicos mutuamente relacionados, que contribuem para a estabilidade do processo produtivo. Assim, a conservação do solo, da água (água do solo, lençol freático e de rios e lagos), do ar, da fauna e flora e do ambiente silvestre é uma necessidade imperativa (PASCHOAL, 1994).

Hoje as sociedades mais exigentes têm regulamentado seus mercados com o objetivo de assegurar aos consumidores aspectos de qualidade do produto final. Orientada para atender essas novas expectativas do consumidor, a Agricultura Orgânica, definida pela lei 10.831 de 23 de dezembro de 2003, apresenta normas para certificação de seus processos.

Para que um produto orgânico possa ser certificado, sua produção tem que ser monitorada por certificadoras credenciadas. O órgão que credencia internacionalmente as certificadoras de produtos orgânicos é a International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), uma federação internacional que congrega os diversos movimentos sociais relacionados com a Agricultura Orgânica. As certificadoras devem estabelecer suas normas e padrões de certificação, que precisam, necessariamente, estar subordinados à organização credenciadora e à legislação vigente em cada país, que têm caráter mais amplo. As normas e os padrões estabelecidos geralmente definem os limites e as recomendações sobre a forma como os produtos devem ser produzidos. O mais comum é o estabelecimento de diretrizes gerais e a descrição de práticas culturais e/ou de insumos permitidos, proibidos, ou de uso restrito (PENTEADO, 2007).

O processo de certificação é feito através de visitas periódicas de inspeção nos locais de produção, processamento e comercialização. Essas visitas podem ser previamente agendadas ou sem o conhecimento do produtor. O agricultor deve apresentar um plano de manejo da produção para a certificadora e manter registros de uma série de informações como origem dos insumos utilizados, produção comercializada, entre outros.

O tempo necessário para a conclusão do processo de certificação depende de vários fatores e varia de acordo com a certificadora e com a atividade da propriedade. No caso de propriedades agrícolas em conversão ao sistema orgânico, pode levar até três anos para que seja considerada certificada, sendo esse tempo mais comum para culturas perenes e bem mais reduzido no caso das hortaliças.

### **2.3 Qualidade do solo**

O conceito de qualidade do solo começou a ser elaborado no início dos anos 90 e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. No entanto, o principal avanço foi o aceite pela sociedade da importância de se avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO, 2002).

Os conceitos mais difundidos de qualidade do solo são aqueles que ressaltam o seu aspecto funcional, como proposto por Doran e Parkin (1994), que consideram a qualidade do solo como a capacidade deste de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. Esta abordagem leva em consideração não apenas o papel do solo na produção agrícola, mas também a sua participação em funções específicas no ecossistema, das quais depende a sustentabilidade em longo prazo. Assim, práticas agrícolas que alteram a produtividade biológica comprometem a qualidade do solo (LAMBALIS, 1997). A restauração da qualidade do solo após a ocorrência de processos de degradação relaciona-se diretamente com o restabelecimento dessas funções (D'ANDRÉA *et al.*, 2002).

Araújo e Monteiro (2007) citando vários autores, apontam outros conceitos para qualidade do solo: i) capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano; ii) condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano; iii) capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos. De uma forma geral, os conceitos acima descrevem algumas funções comuns para o solo, sustentação da produtividade e a promoção da saúde vegetal e ambiental. Desta forma, um solo equilibrado proporciona à planta um desenvolvimento vigoroso e oferece condições para expressar todo seu potencial genético de produção.

Segundo Vezzani (2001), a partir da premissa de que a capacidade do solo exercer suas funções na natureza está relacionada com seus atributos físicos químicos e biológicos, um solo tem qualidade quando a interação do subsistema mineral, plantas e microrganismos está organizado em um nível alto de ordem. Este nível de organização é alcançado pela entrada de compostos orgânicos via cultivo de planta, que proporciona estruturas maiores e mais complexas, devido à interação de minerais, plantas e microrganismos.

O nível alto de ordem é caracterizado pela presença de macroagregados (diâmetro maior que 0,25mm) e alto teor de matéria orgânica retida. Nesta condição os atributos do solo se encontram em situação de emergência e as propriedades emergentes do sistema capacitam o solo a cumprir suas funções na natureza, o que caracteriza qualidade do solo. Com essa qualidade, o solo fornece condições necessárias para as plantas expressarem o seu potencial produtivo.

O nível de alteração da qualidade do solo pode ser avaliado pela mensuração do estado atual de determinadas propriedades e comparação deste com o estado natural do solo, sem intervenção antrópica ou com valores que são considerados ideais (DORAN e PARKIN, 1996).

### **2.3.1 Indicadores de qualidade do solo**

A qualidade do solo é mensurada através de indicadores, que refletem o status ambiental ou condição de sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Segundo Doran e Parkin (1994) os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo de produzir culturas ou de desempenhar funções ambientais.

Um indicador é algo que aponta, indica. Pode ser uma propriedade, processo ou característica física, química ou biológica, utilizando para caracterizar o estado de ecossistema e evidenciar tão precocemente quanto possível as modificações naturais ou provocadas (MELLONI *et al.*, 2008). Tal indicador deve ser: facilmente identificável; pode ser amostrado com facilidade; distribuir-se de forma ampla; possuir características ecológicas e biológicas bem conhecidas; apresentar baixa variabilidade específica; desenvolver-se facilmente em laboratório; e, acumular poluentes (TAUK-TORNISIELO, 1997).

Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por estarem relacionados com processos

do ecossistema e serem sensíveis a variações no uso e manejo do solo, indicam alterações na sua qualidade (DORAN e PARKIN, 1996).

De um modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características adequadas ao desenvolvimento das plantas (ANDREOLA *et al.*, 2000). À medida que essas áreas vão sendo incorporadas ao processo produtivo, os atributos físicos e químicos sofrem alterações (SPERA *et al.*, 2004), cuja intensidade varia com a natureza do solo, condições de clima, uso e manejo adequados.

Parâmetros físicos e químicos como matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo podem ser utilizados para mensurar a qualidade do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). No entanto, esses parâmetros alteram lentamente, sendo necessário muito tempo para verificar mudanças significativas. Já indicadores biológicos e bioquímicos do solo são responsáveis por pequenas alterações que ocorrem no solo, proporcionando informações imediatas e precisas (PASCUAL *et al.*, 2000).

Por esse motivo o monitoramento de processos bioquímicos pode ser caracterizado como uma maneira eficiente de detectar alterações da qualidade do solo muito antes delas afetarem a produção vegetal, ou ainda para avaliar a recuperação da capacidade funcional de solos degradados (LAMBAIS, 1997). Isso ocorre porque a atividade microbiana do solo exerce direta influência na estabilidade e fertilidade do ecossistema (PASCUAL *et al.*, 2000).

As populações de organismos do solo revelam natureza dinâmica e são facilmente afetadas por distúrbios físicos, causados pelo cultivo, ou químicos, resultantes da aplicação de fertilizantes e pesticidas (D'ANDRÉA *et al.*, 2002).

Muito embora existam evidências mostrando que processos biológicos do solo podem servir como indicadores precoces sensíveis de estresses e produtividade, a utilização desses indicadores para avaliar impacto ambiental de diferentes práticas agrícolas tem sido pouco difundida (LAMBAIS, 1997; VALARINI *et al.*, 2002b).

A capacidade de observação dos produtores é de extrema importância nos processos de investigação dos agroecossistemas. A interpretação mais

global dos sistemas de produção é fundamental para subsidiar uma visão de mais longo prazo dos agroecossistemas e de sua sustentabilidade. As avaliações por produtores e técnicos geralmente limitam-se ao rendimento físico final ou à ocorrência de doenças e pragas. Normalmente não utiliza ferramentas que o auxiliem em um diagnóstico mais amplo de seu sistema de produção, como por exemplo, avaliação da capacidade produtiva do solo, ou possível incremento em relação à biodiversidade, à ciclagem de nutrientes, entre outros. Nos sistemas de produção orgânica ou em conversão é de grande valia fazer uma avaliação global do sistema de produção, pois, na ausência de referências ou indicadores que apontem para uma evolução do sistema no sentido da sustentabilidade, os produtores podem tomar decisões imediatistas, limitada a uma análise parcial do sistema, e que são restritas ao curto prazo (FERREIRA, 2005). O mesmo autor afirma que o monitoramento da capacidade produtiva do solo deve ser aprimorado com o uso de indicadores de qualidade do solo, desde que se abordem as diversas inter-relações dos componentes do solo e do sistema de produção como um todo, com vistas a otimizar os mecanismos dessas interações.

A avaliação e o monitoramento da qualidade do solo por meio de atributos indicadores em glebas de manejo ou na propriedade como um todo representa uma análise na escala micro da sustentabilidade, pois está fazendo medições e averiguações no próprio componente ecológico que se quer qualificar, no caso, o solo (LEONARDO, 2003).

Nesse sentido, trabalhos mais recentes realizados para avaliar a qualidade do solo mostraram que o desenvolvimento de novos indicadores físicos e biológicos agregados aos químicos permitem qualificar melhor o solo para a tomada de decisão sobre as práticas de manejo mais adequadas (VALARINI *et al.*, 2002b, 2004, 2007).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Nos meses de fevereiro, junho e dezembro de 2007 foram amostrados solos de seis propriedades de cultivo de cana-de-açúcar nos municípios de Piracicaba, Socorro, Jaguariúna, Holambra e Ribeirão Preto, SP. Todas as propriedades utilizam artesanalmente a cana-de-açúcar para produção de cachaça. Em cada propriedade estudaram-se dois tratamentos: solo cultivado com cana-de-açúcar (sob sistema orgânico ou convencional) e, solo sob mata nativa (área de preservação permanente ou reserva legal), escolhendo sempre que possível a área de mata mais próxima ao talhão de cana-de-açúcar utilizado. Nestas áreas foi feito o monitoramento do desempenho dos indicadores de qualidade do solo e comparou-se a qualidade do solo de mata, solo com menos interferência antrópica (testemunha), com o solo cultivado, associando com as práticas agrícolas de manejo realizados. Além disso, buscou-se avaliar a tendência do conjunto de indicadores e detectar os que melhor traduzem a qualidade do solo.

#### **3.1 Caracterização das propriedades**

Uma breve caracterização das propriedades está sintetizada a seguir, assim como uma ilustração da diversidade e proporção de uso do solo de cada propriedade (Gráfico 1). Para efeito de diferenciação dos sistemas de produção utilizou-se a sigla SC para Sistema Convencional e SO para Sistema Orgânico.

A propriedade 1 (SC1 e T1), entre outras culturas produz cana-de-açúcar, frutíferas, olerícolas e pequenos animais para subsistência. O talhão de

cana-de-açúcar utilizado no presente estudo encontra-se no terceiro corte. Após diversos anos de cultivo dessa cultura com adubação química, atualmente utiliza-se esterco de ovinos (proveniente da propriedade) e cama de frango como fonte de nutrientes, além dos restos culturais (palha remanescente). Não utiliza adubos sintéticos nem agrotóxicos e, apesar do interesse do agricultor, ainda carece de alguns itens para conversão ao sistema orgânico. O solo utilizado como testemunha foi proveniente de área de preservação permanente localizado próximo a um rio, cujo leito possui assoreamento proveniente de erosão laminar das áreas de cultivo da propriedade e entorno (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Visão geral do talhão de cultivo de cana-de-açúcar (SC1). Piracicaba-SP.  
Figura 2. Áreas de mata (testemunha) da propriedade 1 (T1). Piracicaba-SP.

Na propriedade 2 (SO2 e T2) tem-se produção de cana-de-açúcar, café, limão e pastagem sob sistema orgânico, certificada pelo IBD desde 2004. Utiliza palha e bagaço de cana-de-açúcar como cobertura e composto produzido à base de esterco de gado, cama de frango e bagaço de cana, todos procedentes da propriedade. No talhão de cana-de-açúcar fez-se consórcio com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.) no início da cultura. Há cumprimento de reserva legal e área de preservação permanente, sendo esta última utilizada como área testemunha (Figuras 3 e 4).



Figura 3. Abundância de restos culturais na propriedade 2 (SO2). Socorro-SP.  
Figura 4. Visão geral da testemunha (T2). Socorro-SP.

A propriedade 3 (SO3 e T3) produz sob sistema orgânico grande diversidade de olerícolas, banana e cana-de-açúcar, certificada pela ANC (Associação de Agricultura Natural de Campinas e Região). Possui ainda áreas em pousio, agrofloresta e reflorestamento com espécies nativas. O talhão em estudo foi adubado com composto produzido na propriedade com esterco bovino e de galinha. Encontra-se no terceiro corte, após cultivo de mandioca. Possui áreas de regeneração natural e a testemunha trata-se de mata em bom estado de preservação (Figura 5).

A propriedade 4 (SC4 e T4) produz cana-de-açúcar e milho sob sistema convencional. No talhão em estudo cultivaram-se laranja seguido de pasto e, atualmente, cana-de-açúcar no terceiro corte. Utiliza adubação química e capina manual. Não possui área de reserva legal e há ocorrência de severo assoreamento do rio e formação de voçoroca. Solo sob mata ciliar foi utilizado como testemunha (Figuras 6 a 8).



Figura 5. Testemunha da propriedade 3 (T3). Jaguariúna-SP.

Figura 6. Testemunha 4. Erosão do solo em antigo leito de rio. Holambra-SP.

Figura 7. Talhão de cana-de-açúcar da propriedade 4 (SC4) e ao fundo testemunha 4 (T4). Holambra-SP.

Figura 8. Pastagem, talhão de cana-de-açúcar e testemunha ao fundo. Propriedade 4 (T4). Holambra-SP.

As propriedades 5 (SO5 e T5) e 6 (SC6 e T6) pertencem ao mesmo dono, separadas por uma barreira viva (banana) por serem conduzidas sob sistema orgânico e convencional, respectivamente. A propriedade 5 inclui a produção de café, limão e pastagem, sob sistema orgânico desde 2003 e atualmente é certificada pela ECOCERT. A cana-de-açúcar, no sexto corte, foi adubada com esterco bovino, bagacilho e vinhaça produzidos na propriedade.

Já a cana-de-açúcar convencional (propriedade 6), foi adubada com 10-20-20 e ainda utiliza-se herbicidas e queima da cana-de-açúcar (Figuras 9 e 10).

Gráfico 1. Diversidade de uso do solo e área em hectare das propriedades avaliadas.

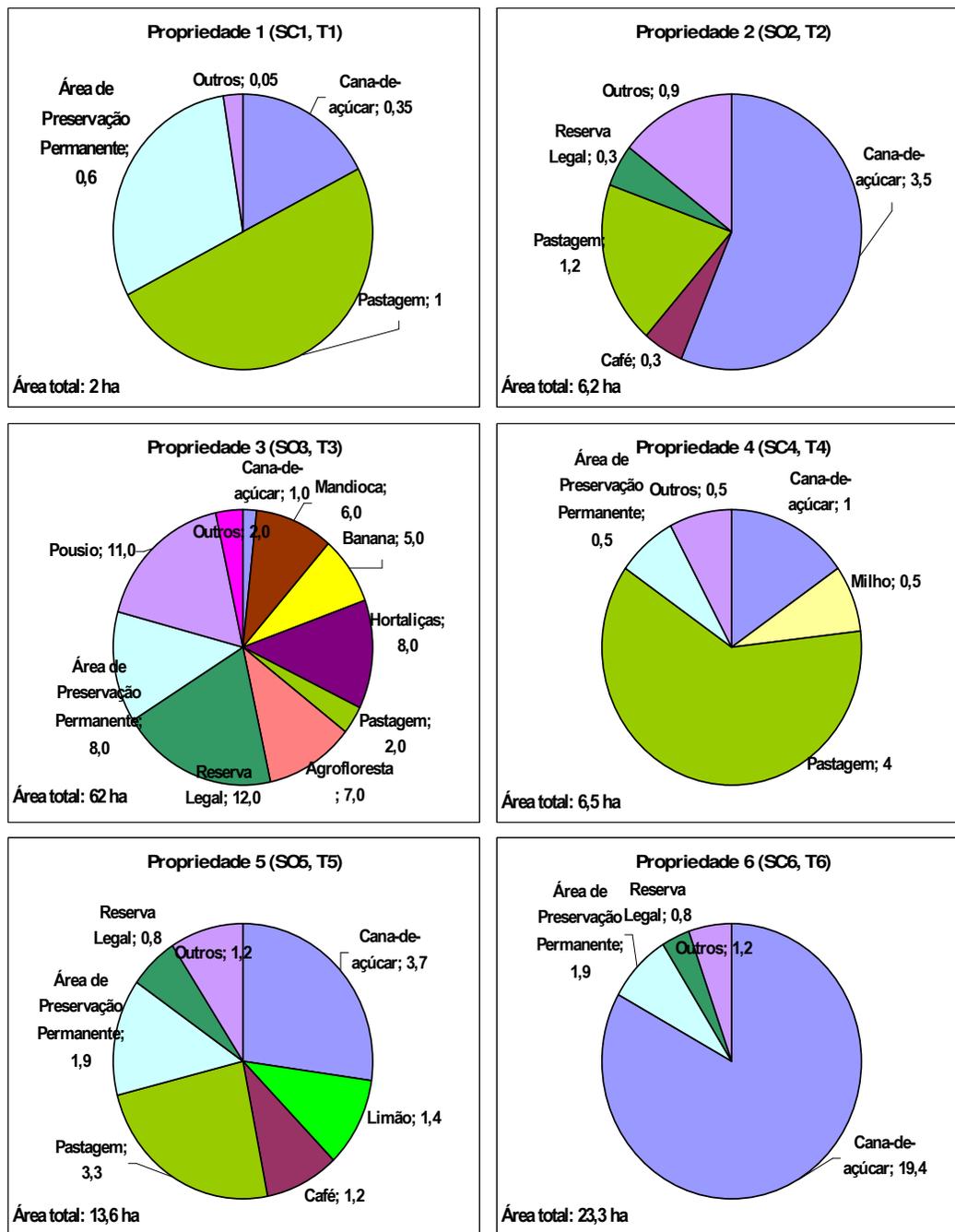




Figura 9. Talhão de cana-de-açúcar da propriedade 6 (SC6). Ribeirão Preto-SP.  
Figura 10. Divisória entre propriedade 5 e 6 com barreira de bananeiras e carreador.

### 3.2 Avaliação de Impacto Ambiental

Considerando que o âmbito desse projeto foi avaliar a sustentabilidade ecológica do solo, isto é, as interações entre as propriedades físicas, químicas e biológicas, os aspectos sociais e econômicos foram tratados apenas com a profundidade necessária para avaliar a sustentabilidade das unidades produtivas.

Para tanto foi aplicado o sistema APOIA-NovoRural (Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural) desenvolvido por Rodrigues e Campanhola (2003). Esse sistema consiste de um conjunto de matrizes escalares formuladas de maneira a permitir a valoração de indicadores do desempenho ambiental de uma atividade agropecuária, indicando os pontos críticos para correção do manejo e os aspectos favoráveis das atividades.

O sistema APOIA-NovoRural avalia cinco dimensões: Ecologia da Paisagem, Qualidade dos Compartimentos Ambientais (água, atmosfera e solo), Valores Socioculturais, Valores Econômicos e Gestão e Administração. A condição Ecologia da Paisagem refere-se à interface do estabelecimento rural com o meio ambiente natural, e os possíveis efeitos da atividade em avaliação, sobre o estado de conservação dos habitats. A dimensão Qualidade Ambiental, relaciona-se, nos compartimentos atmosfera, água e solo com a geração de resíduos e poluentes nas unidades produtivas do estabelecimento. A dimensão

Valores Econômicos refere-se ao desempenho da empresa rural, incluindo o fluxo de capitais. Os Valores Socioculturais estão relacionados à qualidade de vida e inserção das pessoas nos processos produtivos. E, por fim, a dimensão Gestão e Administração, que envolve a interface do estabelecimento com os mercados externos, também abordando fluxos financeiros. O conjunto de dimensões e indicadores, com suas respectivas unidades de medida encontram-se resumidamente na Tabela 1.

O sistema utiliza 62 indicadores e no presente estudo foram utilizados 50. Os indicadores não avaliados tratam-se de algumas variáveis de qualidade da água superficial e subterrânea, geralmente analisadas no local por meio de kit de diagnóstico. Os dados para a avaliação de impacto ambiental compõem-se de unidades quantitativas como porcentagem da área ou tempo de ocorrência, número de pessoas, horas ou hectares. Estes dados referem-se às alterações causadas nos indicadores, em consequência da implantação da atividade, nas condições específicas do estabelecimento rural avaliado.

No presente estudo avaliaram-se as condições antes e após a implantação do cultivo de cana-de-açúcar. No caso das propriedades orgânicas consideraram-se as condições prévias e posteriores a conversão para o sistema orgânico de produção e, nos sistemas convencionais utilizaram-se as condições antes e após implantação da produção de cana-de-açúcar exclusiva para cachaça. Especificamente na avaliação da qualidade do compartimento ambiental solo, consideraram-se como o antes a mata nativa e, o depois, a situação atual da área de cultivo da cana-de-açúcar.

Grande parte das informações constitui-se de conhecimento do proprietário ou responsável, obtidas através de questionário próprio do sistema APOIA-NovoRural. Outros indicadores requerem uma avaliação conjunta entre o proprietário e o entrevistador, de modo a eliminar a subjetividade na coleta das informações sobre as transformações que ocorreram após a implantação do novo sistema ou atividade. O entrevistador deve realizar ainda, vistorias no local de estudo para verificar as informações fornecidas. Outras informações são obtidas através da coleta de dados no campo e posterior análise em

laboratório, como é o caso dos vários indicadores da dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais.

Tabela 1. Dimensões e Indicadores de Impacto Ambiental do sistema APOIA-NovoRural e unidades de medida utilizadas para caracterização em levantamento de campo e laboratório.

<b>Dimensões e indicadores</b>	<b>Unidades de medida obtidas em campo e laboratório</b>
<b>Dimensão Ecologia da Paisagem</b>	
1. Fisionomia e conservação dos habitats Naturais	Porcentagem da área da propriedade
2. Diversidade e condições de manejo das áreas de produção	Porcentagem da área da propriedade
3. Diversidade e condições de manejo das atividades confinadas (agrícolas/nãoagrícolas e de confinamento animal)	Porcentagem da renda da propriedade, excluídas atividades não confinadas
4. Cumprimento com requerimento da reserva legal	Porcentagem da área averbada como reserva legal na propriedade
5. Cumprimento com requerimento de áreas de preservação permanente	Porcentagem da área da propriedade
6. Corredores de fauna	Área (ha) e número de fragmentos
7. Diversidade da paisagem <sup>1</sup>	Índice de Shannon-Wiener (dado)
8. Diversidade produtiva <sup>1</sup>	Índice de Shannon-Wiener (dado)
9. Regeneração de áreas degradadas <sup>1</sup>	Porcentagem da área da propriedade
10. Incidência de focos de doenças endêmicas	Número de criadouros
11. Risco de extinção de espécies ameaçadas	Número de (sub)populações ameaçadas
12. Risco de incêndio	Porcentagem da área atingida pelo risco
13. Risco geotécnico	Número de áreas influenciadas
<b>Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais</b>	
<b>a) Qualidade da Atmosfera</b>	
14. Partículas em suspensão/fumaça	Porcentagem do tempo de ocorrência
15. Odores	Porcentagem do tempo de ocorrência
16. Ruídos	Porcentagem do tempo de ocorrência
17. Óxidos de carbono	Porcentagem do tempo de ocorrência
18. Óxidos de enxofre	Porcentagem do tempo de ocorrência
19. Óxidos de nitrogênio	Porcentagem do tempo de ocorrência
20. Hidrocarbonetos	Porcentagem do tempo de ocorrência
<b>b) Qualidade da Água</b>	
<b>água superficial</b>	
21. Oxigênio dissolvido <sup>1,2</sup>	Porcentagem de saturação de O <sub>2</sub>
22. Coliformes fecais <sup>1,2</sup>	Número de colônias/100 ml
23. DBO <sub>5</sub> <sup>1,2</sup>	Miligrama/litro de O <sub>2</sub>
24. pH <sup>1,2</sup>	pH
25. Nitrato <sup>1,2</sup>	Miligrama NO <sub>3</sub> /litro
26. Fosfato <sup>1,2</sup>	Miligrama P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /litro
27. Sólidos totais <sup>1,2</sup>	Miligrama sólidos totais/litro
28. Clorofila a <sup>1,2</sup>	Micrograma clorofila/litro
29. Condutividade <sup>1,2</sup>	Micro ohm/cm
30. Poluição visual da água	Porcentagem do tempo de ocorrência

31. Impacto potencial de pesticidas <b>água subterrânea</b>	Porcentagem da área tratada
32. Coliformes fecais <sup>1,2</sup>	Número de colônias/100 ml
33. Nitrato <sup>1,2</sup>	Miligrama NO3/litro
34. Condutividade <sup>1,2</sup>	Micro ohm/cm
<b>c) Qualidade do Solo</b>	
35. Matéria orgânica	Porcentagem de matéria orgânica
36. pH <sup>1</sup>	pH
37. P resina <sup>1</sup>	Miligrama P/dm <sup>3</sup>
38. K trocável <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
39. Mg (e Ca) trocável <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
40. Acidez potencial (H + Al) <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
41. Soma de bases <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
42. Capacidade de troca catiônica <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
43. Soma de bases <sup>1</sup>	Porcentagem de saturação
44. Potencial de erosão	Porcentagem da área
<b>Dimensão Valores Socioculturais</b>	
45. Acesso à educação <sup>1</sup>	Número de pessoas
46. Acesso a serviços básicos	Acesso a serviços básicos (1 ou 0)
47. Padrão de consumo	Acesso a bens de consumo (1 ou 0)
48. Acesso a esporte e lazer	Horas dedicadas
49. Conservação do patrimônio histórico, arqueológico e espeleológico	Número de monumentos/eventos do patrimônio
50. Qualidade do emprego	Porcentagem dos trabalhadores
51. Segurança e saúde ocupacional	Número de pessoas expostas
52. Oportunidade de emprego local qualificado	Porcentagem do pessoal ocupado
<b>Dimensão Valores Econômicos</b>	
53. Renda líquida do estabelecimento	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
54. Diversidade de fontes de renda	Proporção da renda domiciliar
55. Distribuição de renda	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
56. Nível de endividamento corrente	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
57. Valor da propriedade	Proporção da alteração de valor
58. Qualidade da moradia	Proporção dos residentes
<b>Dimensão Gestão e Administração</b>	
59. Dedicção e perfil do responsável	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
60. Condição de comercialização	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
61. Reciclagem de resíduos	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
62. Relacionamento institucional	Ocorrência de atributos (1 ou 0)

(<sup>1</sup>) Indicadores expressos em duas medidas, quais sejam, índice de impacto e variação percentual, proporcional ou relativa; cada qual com seu respectivo valor de utilidade. (<sup>2</sup>) Indicadores não utilizados no presente estudo. Tabela adaptada de ROGRIGUES e CAMPANHOLA (2003).

As matrizes escalares do sistema APOIA apresentam uma construção variável para cada indicador. Algumas incluem dados comparativos da situação prévia e posterior à implantação da atividade. Podem possuir também fatores de ponderação para causa e níveis de dano dos impactos observados e, para as escalas de variação percentual dos impactos. Dessa forma, diferentes

indicadores têm suas implicações apropriadamente avaliadas, de acordo com os dados quantitativos específicos que os explicam.

Os indicadores e seus atributos são então inseridos nas matrizes de avaliação, sendo automaticamente ponderados e expressos graficamente utilizando o índice de impacto resultante de cada indicador. A fim de uniformizar a unidade de medida dos indicadores, o índice de impacto do indicador é transformado por uma função de valor que o relaciona com o desempenho ambiental da atividade em uma escala de utilidade que varia de 0 a 1. Os gráficos apresentam a correspondência entre os indicadores e o desempenho ambiental, definidos em valores de utilidade e baseados em testes de probabilidade e sensibilidade para cada indicador. Esta apresentação permite averiguar o desempenho da atividade para cada indicador comparativamente ao tido como padrão ambiental. O valor de utilidade igual a 0,7 (referência padrão) indica estabilidade no desempenho ambiental.

Os resultados da avaliação de impacto ambiental são agrupados pelo valor médio de utilidade para o conjunto de indicadores de cada dimensão, expressos em um gráfico síntese de impacto ambiental da atividade. Este contém ainda, a média do valor de utilidade de todos os indicadores avaliados, expressando o índice de impacto ambiental da atividade rural.

### **3.3 Indicadores de qualidade do solo**

#### **3.3.1 Indicadores físicos**

Os indicadores físicos avaliados foram densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Tot), estabilidade de agregados (Ea), compactação (Cs), umidade (Umi) e proporção argila, silte e areia.

As análises físicas do solo foram baseadas em metodologias descritas em Embrapa (1997) e realizadas pelo laboratório de Qualidade do solo, da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna.

#### **3.3.2 Indicadores químicos**

Dentre os parâmetros químicos foram avaliados o teor de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), pH,

capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e acidez potencial (H+Al). Seguindo metodologia de Raji *et al.* (2001), foram realizadas pelo Laboratório de Análises Química de Solo e Planta na UFSCar (Universidade Federal de São Carlos-Centro de Ciências Agrárias), em Araras.

### **3.3.3 Indicadores bioquímicos**

As análises bioquímicas realizadas foram teor de polissacarídeos (Poli), atividade enzimática desidrogenase (Des) e biomassa microbiana em carbono (Bm), realizadas no laboratório de Microbiologia Ambiental na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, seguindo metodologia de Frighetto e Valarini (2000).

#### **A) Carbono da biomassa microbiana**

Utilizaram-se o método extração/fumigação descrito por Frighetto (2000), no qual a biomassa microbiana é estimada pela diferença entre o teor de carbono das amostras fumigadas em clorofórmio e não-fumigadas. As amostras previamente peneiradas (abertura de 2mm) foram divididas em subamostras, em triplicata, que sofreram fumigação seguida de extração (amostras fumigadas) ou, apenas extração após a pesagem (amostras não-fumigadas). Determinaram-se a umidade do solo (em estufa a 105 °C por 24h) para posterior correção dos valores de CBM. Acondicionou-se 30g de solo que foram acondicionadas em dessecador juntamente com um béquer com 25mL de clorofórmio no centro, permanecendo sob fumigação por 24h em ambiente escuro. Foi acrescentado 100mL de sulfato de potássio 0,5M nas amostras fumigadas e não-fumigadas. A extração foi realizada em agitador com movimento circular horizontal à 170 rpm, por 30 minutos. Após a decantação por uma hora e meia, procedeu-se a filtração lenta (papel Framex 389, faixa azul).

A determinação do carbono nos extratos fumigados e não-fumigados é feita por oxidação com dicromato de potássio, a partir da retirada de uma alíquota de 8mL do extrato, adicionando-se 2mL de dicromato de potássio 66mM, 10mL de ácido sulfúrico concentrado e 5mL de ácido fosfórico concentrado. A mistura é posta em bloco digestor a 100 °C por 30 minutos.

Após o resfriamento adiciona-se 50mL de água destilada e 7 gotas de indicador ferroína. O dicromato em excesso é titulado com a adição de solução de ácido sulfúrico 0,4M e sulfato ferroso amoniacal mol.L<sup>-1</sup>, com ponto de viragem da cor verde para vermelho. Frascos sem solo receberam o mesmo tratamento dado às amostras, sendo utilizados como controle. Efetuaram-se ainda, por titulação, a padronização da solução de sulfato ferroso amoniacal com 3mL de dicromato de potássio 66mM, 15mL de ácido sulfúrico concentrado, 50mL de água destilada e 4 gotas de indicador ferroína.

O cálculo da biomassa de carbono no solo:

Fórmula utilizada para a concentração em (µg.mL<sup>-1</sup>):

$$[(H-S)/C] \times [(M \times D/A) \times E \times 1000]$$

Onde: H=volume (mL) branco quente

S= volume (mL) solução de sulfato ferroso consumido pela amostra

C= volume (mL) branco frio (padronização)

M=molaridade do dicromato consumido

D= volume (mL) do dicromato adicionado a mistura

A= volume (mL) da alíquota do extrato

E= conversão de Cr<sup>+6</sup> para Cr<sup>+3</sup>.

Fórmula usada para concentração em (µg.gsolo<sup>-1</sup>):

$$C(\mu\text{g/mL}) \times [K/(DW+W)]$$

Onde:

K= volume de extração

DW= peso seco

W=% de água

Fórmula para cálculo da biomassa em carbono (µg.gsolo<sup>-1</sup>):

$$E_c(F-NF)/0,38$$

Onde:

$E_c$  = a diferença entre a concentração em  $\mu\text{g.g solo}^{-1}$  do fumigado e do não fumigado.

0,38 = fator de correlação adotado

## B) Desidrogenase

Pesaram-se 5g de solo em tubo de ensaio com tampa rosqueável, adicionando 5mL de solução TTC a 1% em água, agitados vigorosamente em agitador de tubos até completa homogeneização. Colocaram-se em banho-maria a 37°C durante 24h, agitando-se esporadicamente. Após esse período, extraiu-se com 10mL de metanol, agitando e decantando o solo. Retiraram-se o sobrenadante com pipeta Pasteur, transferindo-o para tubos de centrífuga. Repetiu-se o procedimento mais uma vez. Depois de centrifugar a solução por 10 minutos a 3400 rpm o sobrenadante foi transferido para uma cubeta e efetuou-se a leitura em espectrofotômetro a 485 nm, com abertura de fenda 2.

Para a curva-padrão preparou-se uma solução de TTF a 30ppm (3mg/100mL) em metanol P.A. A partir dessa solução-estoque, fez-se diluições pipetando volumes de 1 a 9mL para balões volumétricos de 10mL, completando-se o volume do balão com metanol P.A. Dessa forma, obteve-se concentrações de 3 a 27ppm. Fez-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 485nm e gráfico de absorbância versus concentração.

Através da curva padrão de TTF (1,3,5- Trifenilformazan), pode-se encontrar os valores das concentrações para cada tipo de solo, pela equação de reta:  $y = ax + b$ , onde:  $x$  = concentração,  $y$  = absorbância,  $b$  = interseção,  $a$  = inclinação.

O valor da concentração encontrado tem unidade de  $\text{mg/mL}^{-1}$ . Como na amostra utilizou-se 25mL, multiplicou-se o valor encontrado por 25. Sabendo-se que 1mg de TTF equivale a 150,35  $\mu\text{l}$  de H e conhecendo-se quantos mg são formados em cada amostra, utilizou-se a seguinte relação:

1mg \_\_\_\_\_ 150,35  $\mu\text{l}$  de H

xmg \_\_\_\_\_ y  $\mu\text{l}$  de H

Dividiram-se o valor encontrado pelo peso seco e por último corrigiu-se a umidade.

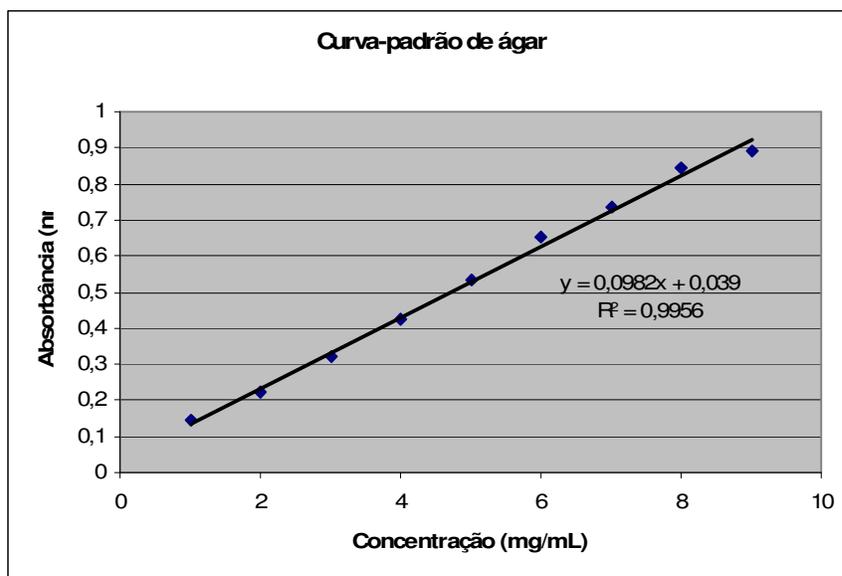
### **C) Polissacarídeos**

Pesaram-se 7,5g de solo em um frasco de 100mL com tampa, foram adicionados 30 mL de NaOH a 0,5N, e colocados em agitador orbital por 3h a 130rpm. Após esse período, acertou-se o pH do solo para 2,5 com ácido clorídrico concentrado. Transferiram-se o conteúdo para um tubo de centrífuga e centrifugou-se por 5 minutos a 2400rpm, para precipitar os ácidos húmicos. O sobrenadante, filtrado em papel de filtro comum e adicionaram-se a 20mL do filtrado 40mL de acetona. Após repouso de um dia para o outro, centrifugaram-se novamente a 2400rpm por 5 minutos a fim de decantar o sobrenadante. Os tubos foram colocados em capela até evaporar totalmente a acetona. Adicionaram-se a cada tubo 1mL de dicromato de potássio 1N e 2mL de ácido sulfúrico concentrado (método de oxidação com dicromato). Após agitados, foram deixados em repouso por 20 minutos e adicionados 5mL de água destilada. Depois de frio, leu-se a absorvância em espectrofotômetro a 600nm.

Para a curva-padrão prepararam-se uma solução-estoque de ágar na concentração de  $1\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ , em balão volumétrico. Para essa preparação, foi necessário deixar a mistura em banho-maria a aproximadamente  $90^{\circ}\text{C}$  para assegurar total solubilização do ágar. Deixaram-se esfriar até a temperatura ambiente para acertar o nível da água. A partir da solução-estoque de ágar, prepararam-se a curva-padrão pipetando-se volumes de 1 a 9mL de solução-estoque, com pipetas volumétricas, para tubos de ensaios. Foram colocados os tubos na estufa a  $100^{\circ}\text{C}$  de um dia para o outro para evaporar totalmente a água. Depois de frio, acrescentaram-se 1mL de dicromato de potássio 1N e 2mL de ácido sulfúrico concentrado. Passados 20 minutos, acrescentaram-se 5mL de água destilada e efetuou-se a leitura em espectrofotômetro a 600nm.

Prepararam-se o gráfico de absorvância versus concentração. Aplicando-se a equação da reta, resultante do gráfico obtido, encontra-se a concentração em cada uma das amostras (Gráfico 2).

Gráfico 2. Expressão gerada através do gráfico para o cálculo da concentração de polissacarídeos produzida.



### 3.4 Coleta das amostras

A fim de avaliar alguns dos parâmetros físicos selecionados, em cada tratamento utilizaram-se três pontos de amostragem (trincheiras). Com uma pá reta retirou-se parte da parede da trincheira e a 10 e 20 cm de profundidade coletaram-se as amostras deformadas, semi e indeformadas. Solo deformado foi coletado para as análises de textura do solo. Para análise de estabilidade de agregados, solo semi-deformado foi retirado em torrões e acondicionado em potes, garantindo mínima deformação. Nos mesmos pontos e profundidades amostrou-se solo em anéis volumétricos para análise de porosidade total, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo, além de solo para análise da umidade atual, acondicionando em pequenos recipientes de aproximadamente 50g, fechado imediatamente após a amostragem e vedado para conservação da umidade original.

A amostragem de solo deformado para análises químicas, bioquímicas foi realizada utilizando-se 10 subamostras constituindo-se uma amostra composta em cada local (cultivo e testemunha). As amostras, retiradas com trado holandês, depois de homogêneas e embaladas, foram

acondicionadas em recipiente com isolamento térmico e após processadas armazenadas em câmara fria para análises bioquímicas.

A avaliação da compactação do solo foi feita com uso de penetrômetro eletrônico. Em cada propriedade averiguaram-se 10 pontos na área de cultivo e 10 na área testemunha, nas profundidades de 0-10 e 10-20cm.

Nas Figuras de 11 a 13 apresentam-se os procedimentos e equipamentos de campo utilizados para coleta das amostras, conforme explicado nos itens acima.



Figura 11. Coleta de solo em anéis volumétricos para análise de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.

Figura 12. Coleta de solo semi-deformado para análise de estabilidade de agregados (Ea).



Figura 13. Avaliação da compactação do solo com penetrômetro eletrônico.

### **3.5 Análise dos dados**

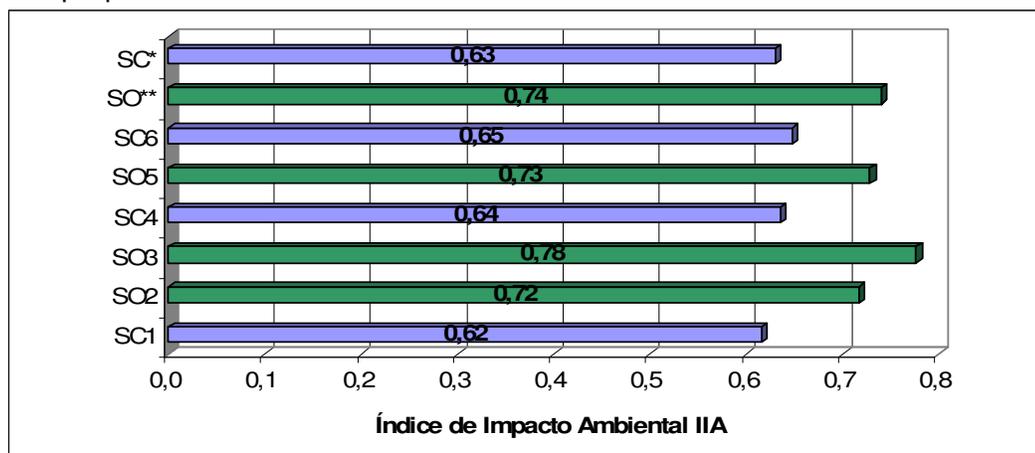
A avaliação da qualidade do solo foi feita separadamente para cada conjunto de indicadores físicos, químicos e bioquímicos, verificando seu desempenho nos tratamentos analisados. Por fim, fez-se uma avaliação conjunta aplicada aos valores médios (das três avaliações) de cada indicador analisado, através de Análise de Componentes Principais (ACP). Assim, a ACP foi realizada para diferentes variáveis (indicadores) e baseada na matriz de correlação dessas variáveis, com o uso do programa Matlab, versão 7,01.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação de Impacto Ambiental através do APOIA-NovoRural

De uma forma geral os resultados da aplicação do sistema APOIA-NovoRural indicaram que o sistema orgânico (SO), com Índice de Impacto Ambiental (IIA) médio de 0,74, apresentou desempenho ambiental 17% superior ao convencional (SC), com 0,63 de IIA (Gráfico 3). Uma vez que o valor de IIA preconizado é  $\geq 0,7$ , correspondendo à estabilidade no desempenho ambiental da atividade, o resultado do sistema convencional apresenta impacto ambiental negativo.

Gráfico 3. Avaliação de Impacto Ambiental pelo sistema APOIA-NovoRural em seis propriedades no Estado de São Paulo.



\*Valor referente à média de todas as propriedades convencionais. \*\* Valor referente à média de todas as propriedades orgânicas.

A avaliação apontou ainda a Gestão e Administração nos SO como o principal diferencial em relação ao SC, obtendo um desempenho 74% superior, indicando a importância de uma gestão adequada para a sustentabilidade de uma atividade (Tabela 2). O que mais influenciou para essa diferenciação foi o desempenho negativo dos indicadores Relacionamento Institucional e Reciclagem e Tratamento dos Resíduos no SC. Em seguida tem-se a dimensão Ecologia da Paisagem com desempenho do sistema orgânico 40% superior ao convencional.

Tabela 2. Índices de Impacto Ambiental segundo as dimensões do sistema APOIA-NovoRural de seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

Dimensões		SC1	SO2	SO3	SC4	SO5	SC6
<b>Ecologia da Paisagem</b>		0,55	0,72	0,82	0,51	0,77	0,58
<b>Qualidade dos compartimentos ambientais</b>	<b>Atmosfera</b>	0,83	0,81	0,83	0,82	0,78	0,78
	<b>Água</b>	0,97	1,00	1,00	0,98	1,00	0,83
	<b>Solo</b>	0,58	0,59	0,63	0,57	0,67	0,74
<b>Valores Socioculturais</b>		0,63	0,66	0,77	0,62	0,61	0,53
<b>Valores Econômicos</b>		0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
<b>Gestão, administração</b>		0,42	0,79	0,90	0,54	0,73	0,43
<b>AIA</b>		0,50	0,58	0,63	0,51	0,59	0,52
<b>IAA Parcial*</b>		0,62	0,72	0,78	0,64	0,73	0,65

\* Índice de Impacto Ambiental parcial, considerando 50 dos 62 indicadores do APOIA-NovoRural.

Especificamente para as propriedades 5 e 6 (mesmo proprietário) os índices alcançados na dimensão Gestão e Administração são 0,73 e 0,43, respectivamente. Os indicadores determinantes dessa diferença são a Condição de Comercialização e o Relacionamento Institucional (Apêndice 1). Informações obtidas no questionário e inseridos no sistema APOIA-NovoRural indicam que a comercialização dos produtos da propriedade 5 diferencia da propriedade 6 por possuir armazenamento e processamento no local, além de propaganda e marca própria. Já em relação ao Relacionamento Institucional, a propriedade 5 possui assistência técnica formal e legal (nesse caso a certificação de propriedade orgânica).

Ao avaliar o desempenho ambiental de atividades rurais representadas pela horticultura orgânica e convencional, através do APOIA-NovoRural, Rodrigues *et al.* (2003) também verificaram que melhorias na conservação dos

recursos e nas condições de gestão proporcionaram melhor desempenho ambiental em propriedades orgânicas em relação a convencionais. Somente no compartimento qualidade do solo, avaliada apenas através de indicadores de fertilidade, o desempenho dos sistemas convencionais foi ligeiramente superior ao orgânico. Valarini *et al.* (2003) por não identificarem diferenças nos IIAs entre solos orgânicos e convencionais, verificaram a necessidade de inserir no sistema APOIA-NovoRural indicadores que avaliem a qualidade do solo não apenas com análise química. Dessa forma, um módulo complementar ao sistema APOIA-NovoRural, adicionando indicadores de qualidade biológica, bioquímica e física do solo foi validado para melhor qualificar a contribuição do manejo orgânico para o desenvolvimento local sustentável (Rodrigues *et al.*, 2003).

O Apêndice 1, refere-se aos resultados numéricos da avaliação de impacto ambiental dos indicadores do sistema APOIA-NovoRural avaliados em cada propriedade estudada. Os Apêndice de 2 a 7 expressam graficamente o índice de impacto das propriedades segundo as cinco dimensões avaliadas. Este contém ainda, a média do valor de utilidade de todos os indicadores avaliados, expressando o índice de impacto ambiental da atividade rural.

#### **4.2 Análises químicas**

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises químicas do solo das seis propriedades selecionadas para a pesquisa. No caso da propriedade 5 e 6 utilizou-se a mesma testemunha, uma vez que são talhões muito próximos, apenas cultivados sob diferentes sistemas. Com exceção do solo sob cultivo da propriedade 1 (área SC1), em todas as propriedades constatou-se adequados teores de MO, ou seja, até 15 g/dm<sup>3</sup> para solos arenosos, entre 16 e 30 g/dm<sup>3</sup> para solos de textura média e de 31 a 60 g/dm<sup>3</sup> para solos argilosos (RAIJ *et al.*, 1997). Os teores de MO ao final do cultivo diminuíram se comparados ao teor inicial do solo, ou seja se comparados ao solo de mata. Apenas na propriedade 4, os teores de MO e, conseqüentemente de CTC foram maiores na área de cultivo (SC4) que na testemunha (T4). Esse fato pode ser devido às diferenças na porcentagem de argila entre esses solos. T4 possui menos de

10% de argila e SC4, mais de 20% e, como a CTC depende do teor de argila no solo, 10% de diferença no teor de argila é significativo. O teor de MO foi, em média, 1,4 vezes maior nos sistemas orgânicos (SO) que nos convencionais (SC).

Em T1 e nas propriedades 2, 3 e 4, há baixo valor de pH e porcentagem de cálcio na CTC inferior ao recomendado, indicando necessidade de calagem nessas áreas de cultivo. Apesar da porcentagem de K na CTC estar um pouco elevada nas testemunhas T5 e T6 e baixa em SC6, nas propriedades 5 e 6, além de um pH dentro dos limites ideais, há um equilíbrio de bases adequado, ou seja, porcentagem de Ca, K e Mg de 60 a 45, 12 a 20 e 3 a 5, respectivamente (VITTI, 2001; NEAL e WALTERS, 1999). O teor de K foi baixo nas propriedades 3 e SO 2 e de alta a muito alta no restante. Já o teor de fósforo no solo é alto (41-80 mg/dm<sup>3</sup>) apenas em SC 6, muito baixo (0-6 mg/dm<sup>3</sup>) em todas as áreas testemunhas e na SC4 e baixo nas demais áreas (7-15 mg/dm<sup>3</sup>) (RAIJ *et al.*, 1997). A saturação por bases (V%) demonstra quanto da CTC está saturada por Ca, Mg e K e nas propriedades em estudo apresenta amplitude de média a alta, sendo apenas a propriedade 2, 4 e a T3 caracterizado como solo distrófico (V% inferior a 50).

Tabela 3. Caracterização química do solo, na profundidade de 0-20cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

Tratamento	M.O.	pH	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
	g.dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg.dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>			%
T 1 <sup>1</sup>	28 <sup>4</sup>	4,7	6,0	4,2	37,7	21,7	37,0	63,6	100,6	62
SC 1 <sup>2</sup>	15	5,7	7,7	2,3	30,7	18,7	16,3	51,6	67,9	76
T 2	42	4,0	5,0	1,9	6,3	4,3	99,3	12,6	111,9	12
SO 2	37	4,5	11,7	1,1	20,0	11,7	54,7	32,7	87,3	38
T 3	38	3,9	3,7	1,4	3,7	2,3	104,3	7,4	111,7	7
SO 3	26	5,0	13,3	0,8	31,0	12,3	30,7	44,1	74,8	59
T 4	17	4,7	2,7	2,2	12,7	6,0	24,3	20,8	45,2	45
SC 4 <sup>3</sup>	21	4,2	5,0	1,8	17,0	9,0	54,3	27,8	82,1	33
T 5	44	5,6	5,3	9,0	88,0	30,0	25,0	127,0	152,0	84
SO 5	40	5,4	14,0	4,7	55,7	18,7	30,0	79,0	109,0	72
T 6	44	5,6	5,3	9,0	88,0	30,0	25,0	127,0	152,0	84
SC 6	35	5,9	45,0	2,1	68,3	13,3	24,3	83,7	108,1	78

<sup>1</sup>T- solo da testemunha (sob mata); <sup>2</sup>SO- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Orgânico; <sup>3</sup>SC- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Convencional; <sup>4</sup>Os valores representam médias de três épocas de avaliação.

### 4.3 Análises físicas

Os dados da análise granulométrica relativos aos solos (Tabela 4) indicam que em alguns casos a área da testemunha e cultivo não possuem a mesma classe textural.

Tabela 4. Granulometria e argila dispersa do solo, na profundidade de 0-20 cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

Tratamento	Areia	Silte	Argila	Classe textural
<b>T 1</b> <sup>1</sup>	43,3 <sup>2</sup>	36,9	19,3	franco <sup>5</sup>
<b>SC 1</b> <sup>2</sup>	49,9	33,5	16,3	franco
<b>T 2</b>	29,4	16,5	53,6	argiloso
<b>SO 2</b>	24,5	14,4	60,9	argiloso
<b>T 3</b>	43,8	8,2	47,8	argiloso
<b>SO 3</b>	47,2	6,2	46,6	areno-argiloso
<b>T 4</b>	70,6	19,8	9,5	franco-arenoso
<b>SC 4</b> <sup>3</sup>	42,5	35,8	21,6	franco
<b>T 5</b>	10,7	47,6	41,4	silto-argiloso
<b>SO 5</b>	8,9	37,3	53,5	argiloso
<b>T 6</b>	10,7	47,6	41,4	argiloso
<b>SC 6</b>	10,0	37,0	52,9	silto-argiloso

<sup>1</sup>T- solo da testemunha (sob mata); <sup>2</sup>SO- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Orgânico; <sup>3</sup>SC- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Convencional; <sup>4</sup>Os valores representam médias de três épocas de avaliação; <sup>5</sup>Camargo *et al.* (1986).

O Gráfico 4 apresenta os resultados relativos a porosidade do solo. A relação entre micro e macroporos, que relaciona, respectivamente, a capacidade de retenção de água e aeração do solo. A porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de 0,5mm, sendo a distribuição de poros por tamanho representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos (BRADY e WEIL, 2002; KIEHL, 1979). Valores de macroporos inferiores a 0,10 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> podem ser restritivos às trocas gasosas e ao crescimento do sistema radicular da maioria das culturas (NEVES *et al.*, 2007). Dessa forma, os resultados indicam em todos os tratamentos condições adequadas para o desenvolvimento das plantas. A porosidade total, soma da macro e microporosidade, apesar de variar entre os solos, é em quase todas as propriedades adequadas ao cultivo, ou seja, maior que 50% (PAULETTO *et al.*, 2005), proporcionando boa aeração do solo.

Em geral a porosidade total do solo foi maior na camada superficial (0-10 cm), comportamento inverso em relação à densidade do solo, (maior na camada de 10-20 cm), concordando com relatos de CAVENAGE *et al.* (1999) e BERTOL *et al.* (2004). Tal comportamento reflete a condição estrutural original do solo, uma vez que os resíduos vegetais se encontram em maior quantidade, em relação à diminuição dos teores de matéria orgânica em profundidade CAVENAGE *et al.* (1999). Portanto, quanto maior o teor de MO, menor a Ds e maior o teor de porosidade total, concordando com o grau de correlação -0,85 e 0,89, respectivamente (correlação entre indicadores avaliados estão apresentados no Apêndice 8). Apenas na propriedade 4 e no cultivo SC1 ocorreu baixa porosidade total e alta densidade do solo (Tabela 5).

A densidade e compactação também se enquadram dentro de um limite aceitável em solos de cultivo (Tabela 5). A densidade geralmente varia entre 1,1 a 1,6 g/dm<sup>3</sup> (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Apesar de influenciada pela textura do solo, densidade e conteúdo de água, Canarache (1990) sugere que valores acima de 2,5 MPa de Cs começam a restringir o pleno crescimento radicular. Outros pesquisadores, consideram críticos os valores que variam de 6 a 7 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos (CAMARGO e ALLEONI, 2006). Segundo IMHOFF *et al.* (2000), a resistência varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água no solo. No estudo, as propriedades 1, 3 e 4 estão entre as mais problemáticas em termos de manejo físico do solo, apresentando Ds entre 1,3 e 1,6 e maior compactação (1,9 a 2,1 MPa). Assim como em MENDES *et al.* (2006), obteve-se menor valor de densidade do solo nas áreas que representam a condição estrutural original do solo, ou seja, a Ds foi maior nas áreas de cultivo em relação às áreas testemunhas. Concordando com MULLER *et al.* (2001), a Ds mostrou correlação negativa com macro, micro e porosidade total -0,70; -0,60; -0,90; respectivamente, ou seja, quando a Ds aumentou, macro, micro e porosidade total diminuíram.

Houve uma redução da Ea no solo de cultivo de cana-de-açúcar em relação ao solo sob mata. No entanto, essa redução não foi acentuada, concordando com estudos citados por D'Andréa *et al.* (2002) que afirmam que

a cobertura vegetal influenciam a agregação do solo e que o cultivo de gramíneas causam efeito benéfico na agregação em relação a outras culturas.

Gráfico 4. Macroporosidade (macro), microporosidade (micro) e porosidade total (total) na profundidade de 0-20 cm, em seis propriedades canavieiras do Estado de São Paulo.

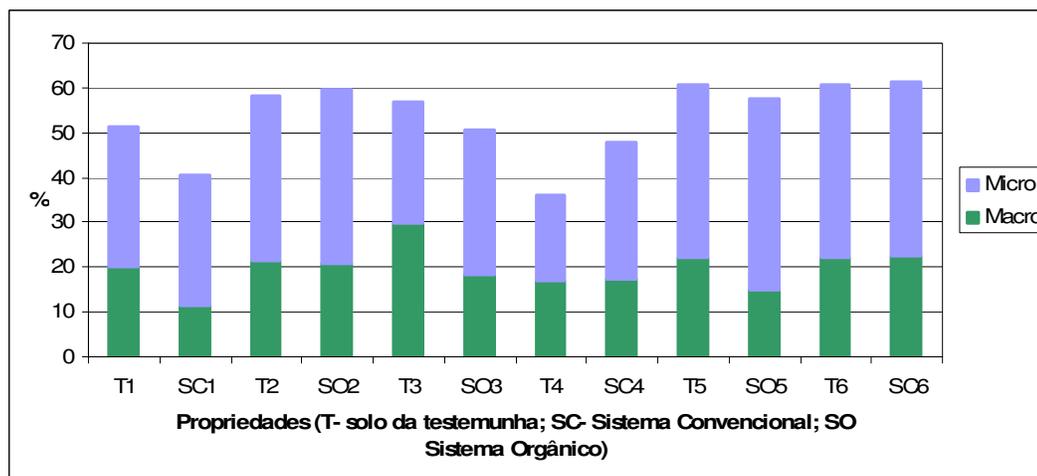


Tabela 5. Estabilidade de agregados (Ea), densidade (Ds), compactação (Cs) e umidade (Umi) na profundidade de 0-10 e 10-20 cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

	Ea (DMS)			Ds (g/dm <sup>3</sup> )			Cs (MPa)			Umi (%)		
	Profundidade (cm)											
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20
<b>T 1</b> <sup>1</sup>	4,4	4,0	<b>4,2</b>	1,2	1,2	<b>1,2</b>	1,0	1,5	<b>1,2</b>	17	16	<b>17</b>
<b>SC 1</b> <sup>2</sup>	1,9	2,0	<b>2,0</b>	1,5	1,6	<b>1,6</b>	0,6	1,2	<b>0,9</b>	16	16	<b>16</b>
<b>T 2</b>	4,4	4,4	<b>4,4</b>	0,9	1,0	<b>0,9</b>	0,8	1,2	<b>0,9</b>	32	31	<b>33</b>
<b>SO 2</b>	3,1	3,8	<b>3,5</b>	1,0	1,1	<b>1,1</b>	0,6	1,2	<b>0,9</b>	31	33	<b>32</b>
<b>T 3</b>	4,5	4,4	<b>4,5</b>	0,9	1,0	<b>1,0</b>	0,9	1,7	<b>1,3</b>	20	20	<b>20</b>
<b>SO 3</b>	3,6	2,5	<b>3,1</b>	1,2	1,3	<b>1,3</b>	1,7	2,4	<b>2,1</b>	19	18	<b>19</b>
<b>T 4</b>	3,6	2,0	<b>2,8</b>	1,5	1,6	<b>1,6</b>	1,5	2,5	<b>2,0</b>	10	8	<b>9</b>
<b>SC 4</b> <sup>3</sup>	3,8	4,0	<b>3,9</b>	1,3	1,4	<b>1,3</b>	1,1	2,2	<b>1,7</b>	12	12	<b>12</b>
<b>T 5</b>	3,7	3,7	<b>3,7</b>	1,1	1,1	<b>1,1</b>	0,9	1,4	<b>1,2</b>	30	27	<b>29</b>
<b>SO 5</b>	4,0	3,6	<b>3,8</b>	1,2	1,2	<b>1,2</b>	1,4	2,1	<b>1,8</b>	28	29	<b>29</b>
<b>T 6</b>	3,7	3,7	<b>3,7</b>	1,1	1,1	<b>1,1</b>	0,9	1,4	<b>1,2</b>	30	27	<b>29</b>
<b>SC 6</b>	2,5	2,6	<b>2,5</b>	1,1	1,1	<b>1,1</b>	1,4	2,4	<b>1,9</b>	30	32	<b>31</b>

<sup>1</sup>T- solo da testemunha (sob mata); <sup>2</sup>SO- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Orgânico; <sup>3</sup>SC- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Convencional; <sup>4</sup>Os valores representam médias de três épocas de avaliação.

#### 4.4 Análises bioquímicas

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados das análises bioquímicas do presente estudo. Os teores mais elevados de Des (8,8 e 14,5  $\mu$  de H/g de solo) foram encontrados nas propriedades 5 e 6, que apresentaram maior Ea (3,7 a 3,8) e menor Ds (1,1 a 1,2). Pode-se verificar que, apesar de com mesmo tipo de solo nas propriedades 5 e 6, devido a grande proximidade entre elas, o teor de Des em SC6 é significativamente inferior ao de SO5, evidenciando a influência das práticas agrícolas sobre a atividade microbiana do solo. Peres *et al.* (2004) identificaram alterações na atividade microbiana de vários solos em decorrência do uso de agrotóxicos. A utilização do fogo também influencia as características microbiológicas do solo, podendo inibir a atividade microbiana e trazer graves problemas no ecossistema (Baretta *et al.*, 2005). Observou-se forte correlação entre o teor de Des e alguns indicadores de fertilidade do solo como o teor de K, Ca, Mg, V%, SB e pH, com coeficientes de correlação de 0,78, 0,75, 0,71, 0,61, 0,78 e 0,5 respectivamente. De acordo com Perez *et al.* (2004), a calagem e adubação mineral ou orgânica favorecem o desenvolvimento microbiano de forma direta, pelo aumento do pH e pela disponibilidade de nutrientes para as células dos microrganismos. A Des correlacionou-se positivamente (0,56) com o teor de matéria orgânica, concordando com Moretini *et al.* (2004) que afirma que a atividade dessa enzima é estimulada pela adição de matéria orgânica ao solo.

Em praticamente todas as propriedades, o teor de polissacarídeo foi maior no solo sob mata (testemunha) que no cultivado com cana-de-açúcar, observando-se boa correlação desse indicador com a quantidade de Bm (0,46), MO (0,41) e com Ea (0,42), concordando com resultados obtidos por VALARINI *et al.* (2007).

A Bm também teve comportamento semelhante ao teor de polissacarídeo, sendo o seu teor, com exceção da propriedade 4, maior na testemunha que na área de cultivo, resultados semelhantes ao obtido por Chaer e Tótola (2007). O grau de correlação entre Bm e MO é muito elevado (0,73), concordando com Perez *et al.* (2004), que afirmam que a forte a

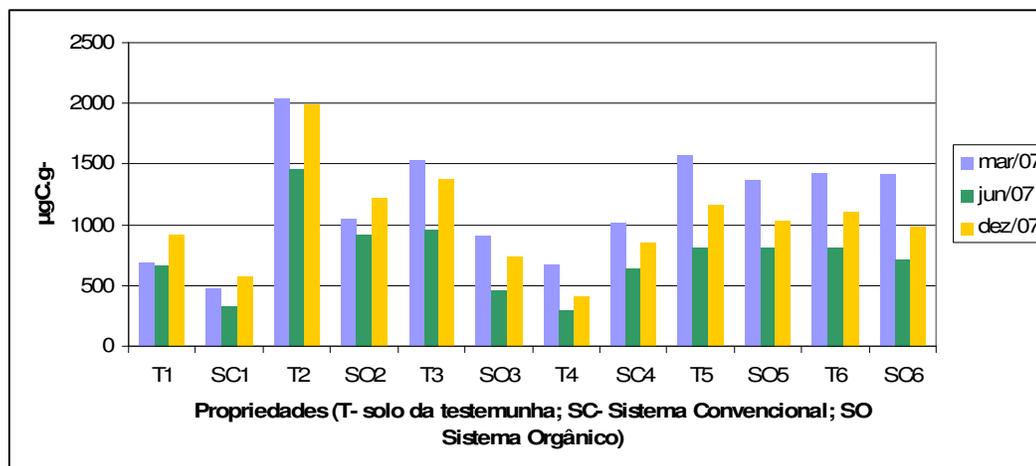
correlação entre matéria orgânica e Bm, possibilita refletir mudanças no teor de matéria orgânica. De acordo com Matsuoka *et al.* (2003) e Marchiori e Melo (2000), ao se alterar o manejo, a matéria orgânica sofre rápidas alterações, atingindo um novo equilíbrio, sendo maior na mata natural, menor em culturas permanentes e, ainda menor nas culturas anuais. Esses autores citam ainda referências em que o inverso aconteceu, sendo a quantidade de Bm maior em solo sob cana, o que pode ter ocorrido devido a características intrínsecas à cultura, tais como produtos orgânicos novos gerados pelas plantas cultivadas, principalmente pelas raízes. A Bm, apesar de ser um indicador precoce de intervenções antrópicas, isoladamente pouco reflete as alterações na qualidade do solo; no entanto, associada ao conteúdo de MO pode ser utilizada como índice para comparar a qualidade do solo sob diferentes manejos (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Constatou-se ainda uma redução média de 37% na quantidade de Bm da primeira avaliação do solo (Março de 2007) para a segunda avaliação (Junho de 2007), coincidindo com a precipitação em volume e frequência (Gráfico 5). O elevado grau de correlação entre Bm e umidade do solo (0,56) confirma estes dados.

Tabela 6. Quantidade de desidrogenase, polissacarídeo e carbono da biomassa microbiana do solo, na profundidade de 0-20 cm, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

Tratamento	Desidrogenase (Des)	Polissacarídeo (Poli)	Biomassa microbiana (Bm)
	$\mu\text{l de H.g}^{-1}$	$\text{mg.g}^{-1}$	$\mu\text{gC.g}^{-1}$
T 1 <sup>1</sup>	5,5 <sup>2</sup>	1,3	759,1
SC 1 <sup>2</sup>	7,3	0,3	462,3
T 2	5,3	1,3	1824,5
SO 2	9,4	1,2	1062,9
T 3	5,1	1,1	1286,5
SO 3	8,4	0,3	701,4
T 4	6,7	1,2	458,3
SC 4 <sup>3</sup>	1,7	0,5	835,3
T 5	19,7	1,2	1177,5
SO 5	14,5	1,2	1070,3
T 6	20,3	0,8	1117,9
SC 6	8,8	0,6	1039,3

<sup>1</sup>T- solo da testemunha (sob mata); <sup>2</sup>SO- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Orgânico; <sup>3</sup>SC- solo de cultivo de cana-de-açúcar em Sistema Convencional; <sup>4</sup>Os valores representam médias de três épocas de avaliação.

Gráfico 5. Quantidade de biomassa microbiana do solo (Bm) em função das épocas de avaliação, em seis propriedades canavieiras no Estado de São Paulo.

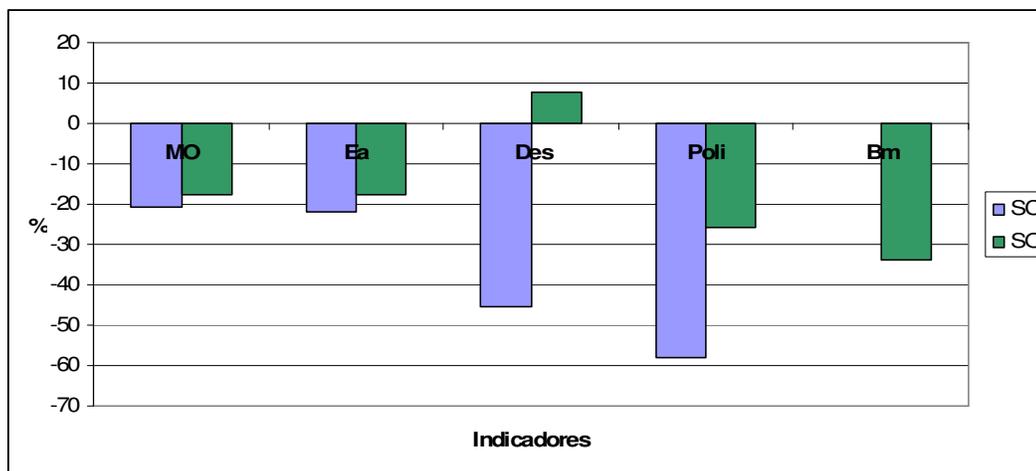


Uma importante constatação foi a superioridade na atividade microbiana nas propriedades orgânicas. Além de maior teor de MO, as quantidades de Des, Poli e Bm foram respectivamente 1,8, 1,9 e 1,2 vezes superiores no sistema orgânico em relação ao convencional. McGill *et al.* (1986) observaram que a disponibilidade de carbono é temporariamente maior nos solos manejados organicamente. Os compostos orgânicos incrementam a biomassa microbiana, em comparação aos fertilizantes inorgânicos, porque ocorre aumento nas proporções de carbono e nitrogênio lábeis, estimulando diretamente a atividade microbiana.

Observou-se também que a variação do desempenho da maioria dos indicadores em relação ao desempenho das testemunhas foi maior no sistema convencional, evidenciando que o solo sob sistema orgânico conservou melhor a qualidade original do solo. Para visualizar essa tendência foi elaborado o Gráfico 6 com a variação percentual do teor médio de cada indicador proveniente das propriedades orgânicas (SO) em relação ao valor médio de suas testemunhas, repetindo-se o mesmo para o SC. Quanto menor a porcentagem de variação em função da testemunha, representada por 0% de variação no gráfico, maior é a semelhança entre o sistema de cultivo e o solo original. Quando a variação foi positiva, o teor nas áreas de cultivo (SO ou SC) foram maiores que o teor da testemunha. Quando negativa, o teor diminuiu em

relação ao solo original. Pode-se perceber que apesar da maioria dos indicadores, em ambos os sistemas serem negativos, a variação percentual do SO em relação à testemunha é menor.

Gráfico 6. Variação percentual dos teores de alguns indicadores nos sistemas orgânicos (SO) e convencionais (SC) em relação aos teores relação aos teores das testemunhas.



#### 4.5 Análise de Componentes Principais (ACP)

O Gráfico 7 mostra os resultados da ACP realizados com o conjunto de variáveis analisadas. Com o primeiro eixo da ACP explicando 44,35% da variação dos dados, observa-se uma grande separação segundo a origem das áreas. As propriedades 1, 3 e 4 possuem valores negativos, contrastando com a propriedade 2 e, principalmente, com a 5 e 6, com valores positivos. Já o segundo eixo (ACP2) possibilitou uma separação em função de semelhanças nos indicadores avaliados.

Houve grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis químicas, bioquímicas e algumas físicas sobre as propriedades 5 e 6. Entre os indicadores bioquímicos, o que mais influenciou as propriedades 5 e 6 foi a Des, que obteve os valores mais altos em relação às demais propriedades estudadas. Os teores de Bm e Poli também influenciaram, mas com escores menores. MO, P, Mg, K, SB, pH e V% foram os indicadores químicos que mais influenciaram, confirmando a elevada fertilidade nestes solos. O teor de silte, argila, macroporos, microporos, porosidade total, umidade do solo e

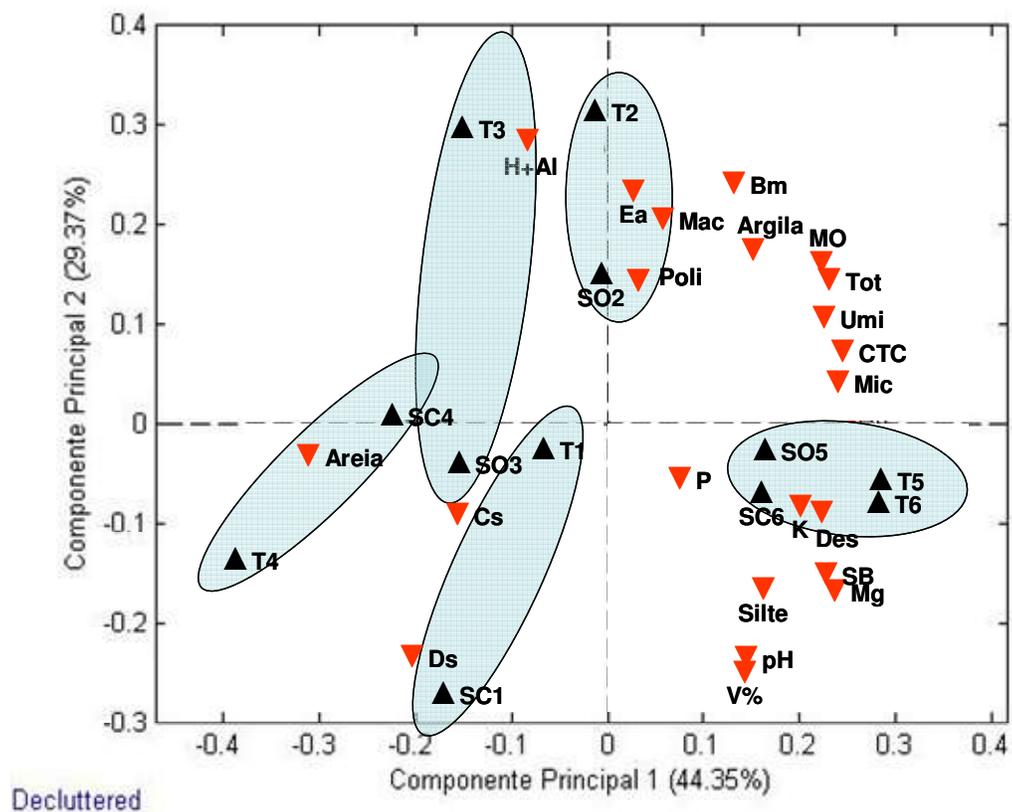
estabilidade de agregados também contribuiu para diferenciar as propriedades 5 e 6 das demais. A propriedade 2 foi bastante influenciada pelo H+Al, Poli, Macro, Bm e Ea.

Já as propriedades 1, 3 (principalmente SO<sub>3</sub>) e 4 foram fortemente influenciadas pelo teor de areia, Cs e Ds, agrupando as áreas com maior degradação física do solo e, pouco influenciadas por indicadores bioquímicos e de fertilidade do solo. Coincidem com o quantidades menores de MO (1,5 a 2,6%), Bm (462 a 835 ugC/g solo seco), Des (1,7 a 8,4 µl de H/g solo seco) e Poli (0,3 a 0,5 mg/g solo seco).

A propriedade 4 teve comportamento mais diferenciado entre as áreas em estudo, uma vez que de uma forma geral os parâmetros avaliados indicaram qualidade do solo de mata pior que solo sob cultivo de cana. Esse fato pode ser explicado pela degradação física da área de preservação permanente (testemunha), o que prejudicou a percepção da influência do manejo do solo (SC4) em relação ao solo não manejado (T4).

A análise de componentes principais possibilitou visualizar as semelhanças entre as áreas com base em todas as variáveis avaliadas. A área de vegetação natural usada como referência na propriedade 4 (T4) foi a que apresentou maior distanciamento gráfico da demais áreas. No Gráfico, ao projetar os pontos no eixo x, possibilita a visualização dos escores de cada área (testemunha e cultivo), referente ao primeiro eixo (ACP1) e segundo eixo (ACP2). Considerando a projeção no eixo x e a proximidade entre as áreas de cultivo e testemunha de uma mesma propriedade, pode-se perceber que as propriedades 4 e 1 foram as que obtiveram maiores diferenças entre escores, indicando maior modificação em relação ao solo sob vegetação natural. De uma forma geral, o presente estudo obteve uma tendência semelhante ao estudo de Sena *et al.* (2002) e Chaer e Tótola (2007), em que a ACP evidenciou que, quanto à qualidade do solo, as áreas submetidas a sistemas de implantação que prezam a manutenção da camada orgânica do solo agrupam-se mais próxima das áreas de referência de qualidade, contendo vegetação nativa.

Gráfico 7. Resultados da ACP em seis propriedades canvieiras no Estado de São Paulo.



## 5. CONCLUSÕES

1. A aplicação do sistema APOIA-NovoRural permitiu identificar pontos críticos e aspectos favoráveis nos sistemas produtivos. Mostrou melhor desempenho ambiental do sistema de manejo orgânico (SO) em relação ao convencional (SC), indicado pelas dimensões “Ecologia da Paisagem” e “Gestão e Administração” da propriedade.

2. A maioria dos atributos indicou que o manejo realizado nas áreas sob cultivo orgânico contribuiu para a manutenção da qualidade do solo. Entre eles destacam-se os indicadores estabilidade de agregados (Ea), matéria orgânica (MO), desidrogenase (Des), polissacarídeos (Poli) e biomassa microbiana em carbono (Bm) e podem ser utilizados como indicadores de sustentabilidade dos sistemas de produção avaliados.

3. As características intrínsecas de cada solo influenciaram mais no agrupamento das propriedades (ACP) que as práticas do manejo realizadas no solo.

4. Os valores isoladamente não servem como indicadores precisos e confiáveis das condições do solo. No entanto, quando avaliados em conjunto (ACP), mostram-se sensíveis para captar as alterações ocorridas no ambiente devido às diferentes formas de uso do solo. Assim, os atributos selecionados podem fornecer subsídios para o planejamento do uso correto da terra.

5. Em geral, apesar da boa manutenção da qualidade do solo, há necessidade de melhorias para a sustentabilidade ser alcançada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Porto Alegre: Guaíba, 2002. 592p.

ANDRADE, S.L.A.L. de; SILVEIRA, A.P.D. da. Biomassa e atividade microbiana do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1191-1198. 2004.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.857-865. 2000.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, p.66-75. 2007.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A. *et al.* Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.35, p.300-306. 2004.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEREDO, S.R.; FILHO, O.K. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.715-724. 2005.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163. 2004.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. Agregação de um Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com manejo na região dos cerrados no

estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, jan./mar. 2001.

BRADY, NC.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 960p.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S. do C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia, MG. **Caminhos da Geografia**, v.3, p.46-56. 2002.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Disponível em: <[HTTP://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/C6/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm)>. Acesso em: 10/09/2008.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, v.106; p.1-97. 1986.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G.S.; VALARINI, P.J.; FRIGHETTO, R.T.S.; QUEIROZ, J.F.; TOLEDO, L.C.; RAMOS FILHO, L.O.; RODRIGUES, G.S.; BROMBAL, J.C. Avaliação de impacto ambiental de atividades do Novo Rural. In: CAMPANHOLA, C.; SILVA, J.G. **O Novo Rural brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. v. 6, cap. 9, p. 279-308.

CANARACHE, A. PENETR- a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, F.A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. Brasília, DF: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 24p.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, F.A. Análise multidimensional da sustentabilidade. Uma proposta metodológica a partir da Agroecologia. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.3, Jul./Set. 2002.

CARDOSO, M. das G.; CAMPOS, G.A; SILVA, R.A da; SANTOS, C. D. dos; PINTO, A.E.S.; SILVA, C. de F. **Cachaça: qualidade de produção**. 2003. Disponível em: [http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdfextensao/bol\\_07.pdf](http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdfextensao/bol_07.pdf). Acesso em: 20/01/2006

CARVALHO, F. de. **Atributos biogeoquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Estado de São Paulo**. 79p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Piracicaba, ESALQ-USP, jul. 2005.

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

CERVEIRA, R. **Agroecologia & Desenvolvimento**: estudo de caso do grupo Curupira, Jaboti- PR. 105p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1381-1396, nov/dez. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar-safra 2008**. Segundo levantamento, Agosto de 2008. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>. Acesso em: 10/10/2008.

CONCEIÇÃO, P.C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**. Santa Maria: UFSM, 2002. 125p.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G.de. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p.1185-1191. 2006.

CRUZ, A.B.; BARRA, J.E.; CASTILLO, R.F.; GUTIÉRREZ, C. Revisión: La calidad del suelo y sus indicadores. **Ecosistemas**, México, v.13, n. 2, p.1-10, mayo-ago. 2004.

CURY, J. de C. **Atividade microbiana e diversidades metabólicas e genética em solo de mangue contaminado com petróleo**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). ESALQ-USP, Piracicaba, 2002.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1047-1054. 2002.

DAROLT, M.R. **Agricultura orgânica**: inventando o futuro. Londrina: IAPAR, 2002. 250p.

DIDONET, A.D.; BAGGIO, A.J.; MACHADO, A.T.; TAVARES, E.D.; COUTINHO E.L. da C.; CANUTO, J.C.; GOMES, J.C.C.; RIBEIRO, J.F.; WADT, L.H.de O.; MATTOS, L.M. de; BORBA, M.F.S.; KATO, M. do S.A.; URCHÉI, M.A.; KITAMURA, P.C.; PEIXOTO, R.T. de G. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 70p.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COEMAN, D.C; BEZDICEK, D.F; STEWART, B.A. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, v.35).

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.25-37

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

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.505-517. 2004.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FERREIRA, J.M.L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 90p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)- Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

FRIGUETTO, R.T.S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extração. In: FRIGUETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.157-166. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

FRIGUETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia. Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000.

GOMES, J.V.B.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.137-153. 2004.

IMHOFF, S. del C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de latossolos e argissolos vermelhos**. Tese (Doutorado). ESALQ-USP. Piracicaba, mai 2002.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. da; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, jul. 2000.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LAMBAIS, M.R. Atividades microbiológicas envolvidas na mineralização da matéria orgânica: potenciais indicadores da qualidade de solos agrícolas. In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. **Indicadores ambientais**. Sorocaba [s.n.], 1997. p.169-174.

LEFF, E. Agroecologia e saber ambiental. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.1, jan./mar., 2002.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. 121p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP. Piracicaba, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetida a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1177-1182. 2000.

MATSUOKA, M. ; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de primavera do Leste, MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.425-433. 2003.

McGILL, W.B.; CANNON, K.R.; ROBERTSON, J.A.; COOK, F.D. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 year of cropping to two rotations. **Canadian Journal of Soil Science**, v.66, p.1-19, 1986.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n.244, p.17-29, maio/jun. 2008.

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

MESQUITA, C.M.de. **Avaliação integrada do impacto do uso de pesticidas na microbiota do solo. Estudo de caso: Paty do Alferes-RJ**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública- FIOCRUZ. Rio de Janeiro-RJ. 2005.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Metabolismo e processos microbianos. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. Lavras: Ed. UFLA, 2006. cap. 4, p.163-201.

MORETINI, A.; SPESSOTO, A.M.; MELO, I.S. de. Fungicida metalaxil na microbiota e na atividade enzimática do solo. **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v.14, p.73-84. 2004.

MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M. de F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F. da F. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1409-1418. 2001.

NEAL, K.; WALTERS, C. **Hands-on-Agronomy**. Acres, USA, 1999. 352 p.

NEVES, C.M.N. das; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.74, p.45-53, jun. 2007.

NIELSEN, N.M.; WINDING, A. **Microorganisms as indicators of soil health**. Denmark: National Environmental Research Institutem, 2002. 84p. (Technical Report, n.388).

OLIVEIRA, E.R. de; RIBEIRO E.M. Indústria rural, agricultura familiar e desenvolvimento local: o caso da produção de cachaça artesanal em Salinas-Minas Gerais. In: SEMINÁRIO SOBRE ECONOMIA MINEIRA, 10., Belo Horizonte, 2002. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. p.1-17.

OLIVEIRA, J.R.A. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. 115p. (Dissertação de Mestrado). Brasília, Universidade de Brasília. 2000.

PASCHOAL, A.D. **Produção orgânica de alimentos**: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI: guia técnico e normativo para o produtor, o comerciante e o industrial de alimentos orgânicos e insumos naturais. 191p. 1994.

PASCUAL, J.A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J.L.; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, p. 1877-1883. 2000.

PAULETTO, E.A.; BORGES, J.R.; SOUSA, R.O. de; PINTO, L.F.S.; SILVA, J.B. da; LEITZKE, V.W. Avaliação da densidade e porosidade de um gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.2, p.207-210. 2005.

PAULUS, G.; MULLER, A.M.; BARCELLOS, L.A.R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 86p.

PENTEADO, S.R. **Certificação agrícola**. Piracicaba: Editora Via Orgânica, 2007. 204p.

PEREIRA, S.V.; MARTINEZ, C.R.; PORTO, E.R.; OLIVEIRA, B.R.B.; MAIA, L.C. Atividade microbiana em solo de Semi-árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.757-762. 2004.

PERES, T.B.; ANDRÉA, M.M.; LUCHINI, L.C. Agrotóxicos usados na cultura do algodão: efeito na atividade das enzimas desidrogenase e arilsulfatase do solo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.71, p.363-369. 2004.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.567-573. 2004.

PRIMAVESI, A. **Agroecologia: ecosfera, tecnosfera e agricultura**. São Paulo: Nobel, 1997. 199p.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, Brasil**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RODRIGUES, G.S. **Avaliação de impacto de atividades em estabelecimentos familiares do novo rural**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 46p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do novo rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 4, p.445-451. 2003.

RODRIGUES, G.S.; VALARINI, P.J.; CAMPANHOLA, C. Módulo Complementar de Capacidade Produtiva do solo para o método de Avaliação ponderada de impacto ambiental de atividades do novo rural (APOIA-NovoRural). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1., 2003, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, 2003. 10p. CD-ROM.

SENA, M.M.; FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, v.67, p.171-181. 2002.

SEVILLA GUSMÁN, E. A perspectiva sociológica em agroecologia: uma sistematização de seus métodos e técnicas. **Agroecologia e**

**Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.1, p.18-28, jan./mar. 2002.

SILVA, C.M.M. de S; FAY, E.F.; VIEIRA, R.F. Efeito dos fungicidas metalaxil e fenarimol na microbiota do solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.15, p.93-104. 2005.

SILVEIRA, M.L.A. Carbono orgânico dissolvido e biodisponibilidade de P e N como indicadores de qualidade do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.62, p.502-508. 2005.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.40-41.

SOUZA, J.L. de **Balanco energético em cultivos orgânicos de hortaliças**. 2006. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.533-542. 2004.

TAUK-TORNISIELO, S.M. Microrganismos como indicadores de impactos ambientais. In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. **Indicadores ambientais**. Sorocaba, 1997. p.157-165.

VALARINI, P.J. ; FRIGHETTO, R. T. S.; SCHIAVINATTO, R.J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M. M. ; BALBINOT, L.; POPPI, R. J. . Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.60-67. 2007.

VALARINI, P.J.; DIAZ ALVAREZ, M.C.; GASCÓ, J.M.; GUERRERO, F.; TOKESHI, H. Integrated evaluation of soil quality after the incorporation of organic matter and microorganisms. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.33, p.53-58. 2002a.

VALARINI, P.J.; DÍAZ, M.C.A.; GASCÓ, J.M.; GUERRERO, F.; TOKESHI, H. Assessment of Soil properties by organic matter and EM-microorganisms incorporation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.519-525. 2003a.

VALARINI, P.J.; FRIGHETTO, R.T.S.; DORNELAS, M.; SCHIAVINATO, R. J. Desarrollo de nuevos indicadores para evaluación integrada de la capacidad productiva del suelo. In: CONGRESO DE AGROECOLOGÍA DE LA SEAE, 6., 2004, Almería, Andalucía, España. **Anais...** Almería: SEAE, 2004. p.1267-1277. CD-ROM.

VALARINI, P.J.; FRIGHETTO, R.T.S.; SOUSA, M.D.; SCHIAVINATO, R.J.; CAMPANHOLA, C. Análise integrada do solo para avaliar sistemas

de manejo de tomate orgânico e convencional. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA**, 15. Cuiabá. SBCS. ANAIS...CD, **2002b**. 5p.

VALARINI, P.J.; RODRIGUES, I.; RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental (APOIA-NovoRural) em estabelecimentos com horticultura orgânica e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1., Porto Alegre, 2003. **Anais...** Porto Alegre, 2003b. 4p. CD-ROM.

VARGAS, L.K. O papel da microbiologia nos estudos de qualidade do solo. **Revista Científica Rural**, Curitiba, v.8, p.57-67. 2003.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

VITTI, G.C.; TREVISAN, T.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS, M.C. **Nutrição e adubação da soja**. Piracicaba, 2001. 55p.

ZILLI, J.E.; RUMJANEK, N.V.; XAVIER, G.R; COUTINHO, H.L da C.; NEVES, M.C.P. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.20, n.3, 391-411, set./dez. 2003.

## 7. APÊNDICE

## Apêndice 1. Resultados numéricos e ponderação para avaliações parciais do Sistema APOIA-NovoRural.

DIMENSÕES	SC1	SO2	SO3	SC4	SO5	SC6
Fisionomia e conservação dos habitats naturais	0,63	0,63	0,78	0,63	0,63	0,63
Diversidade e condição de manejo das áreas de produção agropecuária	0,97	0,93	0,86	0,49	1,00	0,95
Diversidade e condição de manejo das atividades não agrícolas e confinamento animal	0,63	0,99	0,91	0,73	1,00	0,61
Cumprimento com requerimento de Reserva Legal	0,00	0,53	0,99	0,46	0,46	0,46
Cumprimento com requerimento de proteção áreas de preservação permanente	0,12	0,58	0,93	0,13	0,63	0,12
Corredores de fauna	0,68	0,68	0,85	0,68	0,68	0,68
Diversidade da paisagem	0,35	0,41	0,67	0,38	0,64	0,24
Diversidade produtiva	0,16	0,39	0,69	0,34	0,49	0,07
Regeneração de áreas degradadas	0,87	0,72	0,88	0,01	0,76	0,63
Incidência de focos de vetores de doenças endêmicas	0,68	0,80	0,69	0,67	0,69	0,69
Risco de extinção de espécies ameaçadas	0,90	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00
Risco de incêndio	0,76	0,74	0,43	0,97	1,00	0,74
Risco geotécnico	0,45	1,00	1,00	0,33	0,99	0,69
Partículas em suspensão/fumaça	1,00	0,97	1,00	1,00	0,63	0,63
Odores	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ruído	0,98	0,97	1,00	0,96	1,00	1,00
Óxidos de carbono	0,70	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70
Óxidos de enxofre	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Óxidos de nitrogênio	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Hidrocarbonetos	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Poluição visual	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Impacto potencial de pesticidas	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	0,65
Matéria orgânica	0,79	0,37	0,13	0,79	0,41	0,26
pH	0,67	0,99	0,99	0,67	0,84	0,99
P resina	0,17	0,33	0,36	0,17	0,38	0,87
K trocável	0,46	0,31	0,24	0,46	0,89	0,52
Mg trocável	0,99	0,96	0,93	0,99	0,31	0,87
H+Al	0,25	0,24	0,52	0,25	0,54	0,63
Soma de bases	0,63	0,73	0,86	0,63	0,97	0,97
CTC	0,97	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98

Continuação...

DIMENSÕES	SC1	SO2	SO3	SC4	SO5	SC6
Volume de bases	0,27	0,30	0,51	0,27	0,67	0,73
Erosão	0,60	0,68	0,75	0,47	0,68	0,60
Acesso à educação	0,76	0,77	0,82	0,76	0,70	0,70
Acesso a serviços básicos	0,71	0,81	0,62	0,71	0,76	0,58
Padrão de consumo	0,79	0,73	0,66	0,85	0,65	0,57
Acesso a esporte e lazer	0,70	0,85	0,70	0,70	0,00	0,00
Conservação do patrimônio histórico/ artístico/ arqueológico/ espeleológico	0,00	0,00	0,70	0,00	0,70	0,70
Qualidade do emprego	0,30	0,45	0,70	0,20	0,45	0,30
Segurança e saúde ocupacional	0,83	0,83	0,97	0,75	0,92	0,79
Oportunidade de emprego local qualificado	0,92	0,82	0,96	0,98	0,71	0,63
Renda líquida do estabelecimento	0,02	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00
Diversidade das fontes de renda	0,59	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Distribuição da renda	0,67	0,50	0,50	0,70	0,57	0,57
Nível de endividamento	0,27	0,37	0,70	0,50	0,87	0,67
Valor da propriedade	1,00	1,00	0,61	1,00	0,61	0,61
Qualidade da moradia	0,78	0,95	0,95	0,78	0,86	0,86
Dedicação e perfil do responsável	0,50	0,83	1,00	0,83	0,83	0,83
Condição de comercialização	0,63	0,50	0,75	0,75	0,63	0,13
Reciclagem de resíduos	0,40	1,00	1,00	0,40	0,80	0,60
Relacionamento institucional	0,17	0,83	0,83	0,17	0,67	0,17
<b>ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL DA ATIVIDADE</b>	<b>0,50</b>	<b>0,58</b>	<b>0,63</b>	<b>0,51</b>	<b>0,59</b>	<b>0,52</b>
<b>AVALIAÇÃO PARCIAL - "INDICAR NÚMERO DE INDICADORES FALTANTES" =</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE PARCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL DA ATIVIDADE*</b>	<b>0,62</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>	<b>0,64</b>	<b>0,73</b>	<b>0,65</b>

\* O índice parcial de impacto ambiental desconsidera os indicadores não avaliados no presente estudo.

## Apêndice 2. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 1\*

### Índice de Impacto Ambiental da Atividade

**Ecologia da Paisagem**

**Qualidade ambiental - Atmosfera**

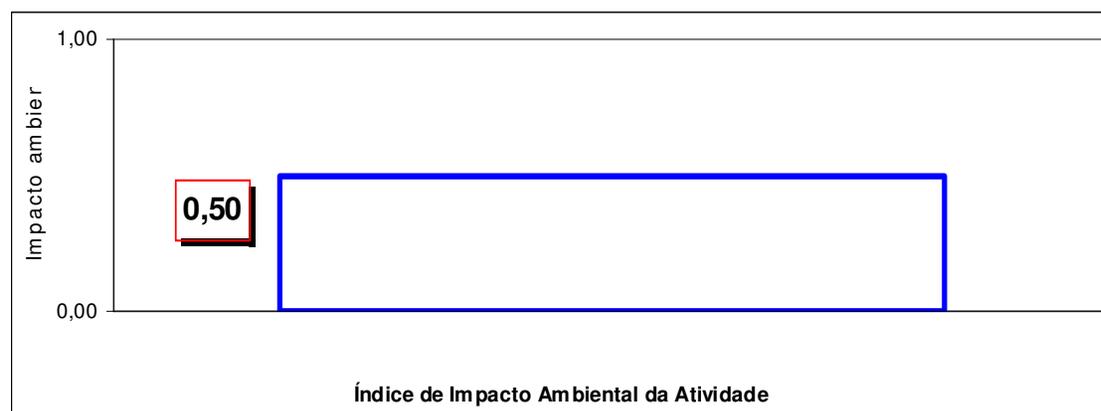
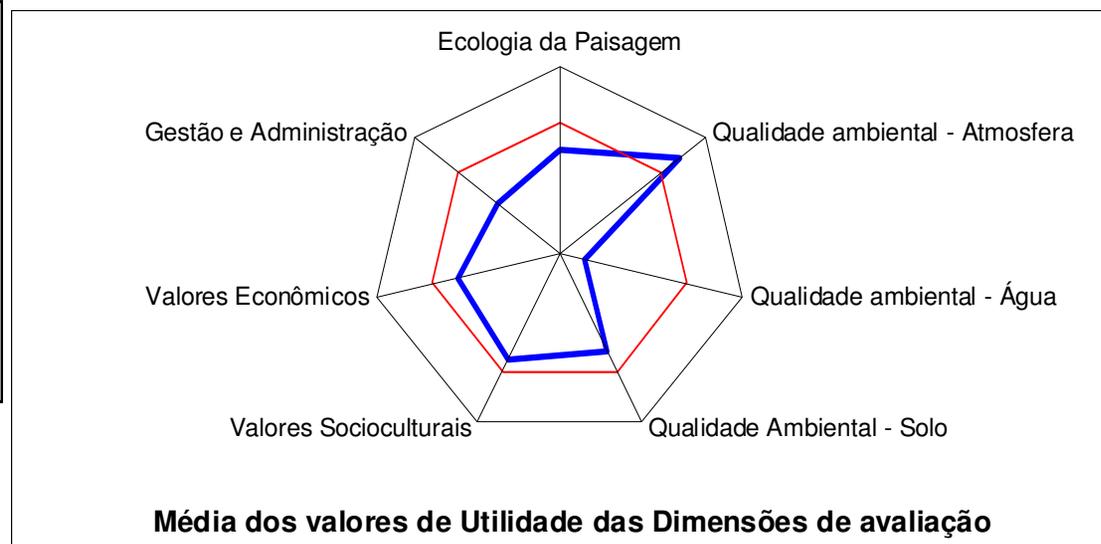
**Qualidade ambiental - Água**

**Qualidade Ambiental - Solo**

**Valores Socioculturais**

**Valores Econômicos**

**Gestão e Administração**



\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 1, segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

### Apêndice 3. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 2\*

#### Índice de Impacto Ambiental da Atividade

**Ecologia da Paisagem**

**Qualidade ambiental - Atmosfera**

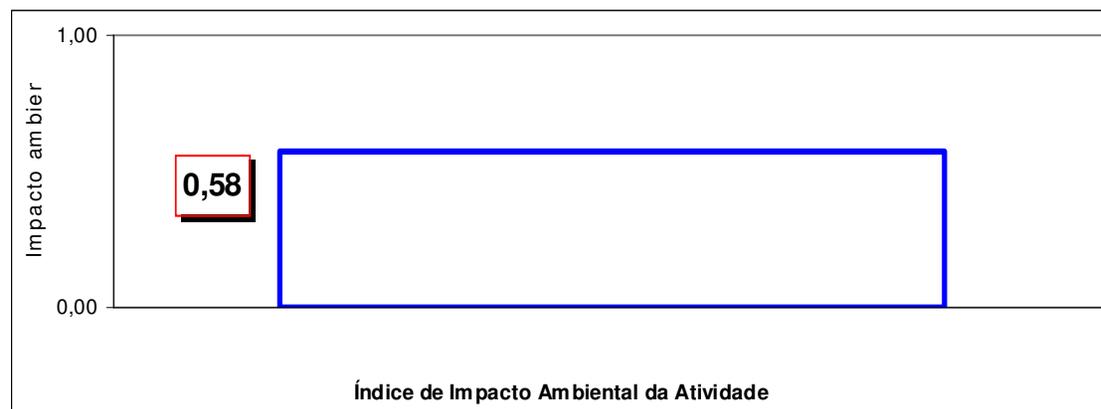
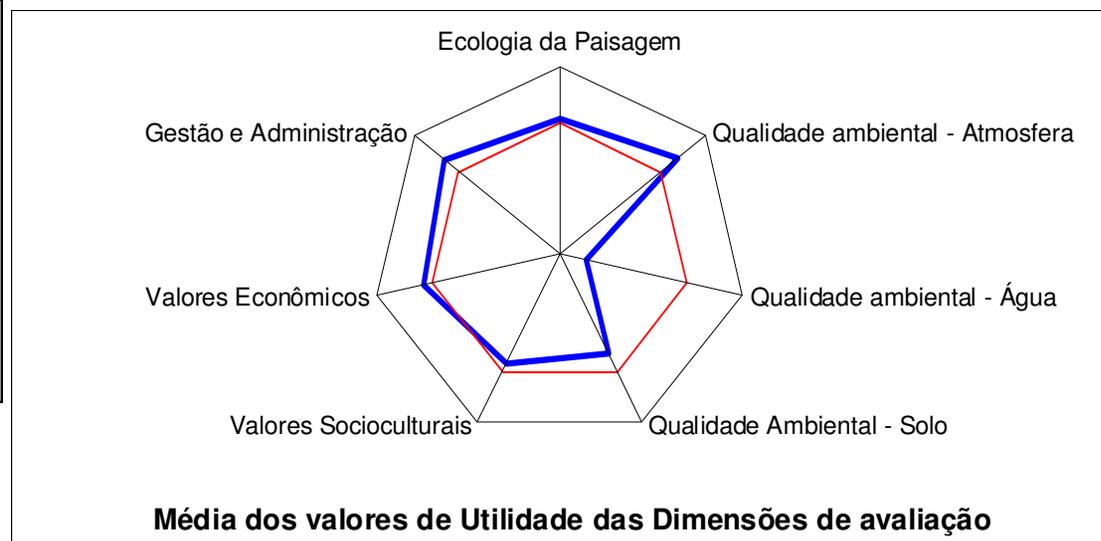
**Qualidade ambiental - Água**

**Qualidade Ambiental - Solo**

**Valores Socioculturais**

**Valores Econômicos**

**Gestão e Administração**



\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 2 segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

## Apêndice 4. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 3\*

### Índice de Impacto Ambiental da Atividade

**Ecologia da Paisagem**

**Qualidade ambiental - Atmosfera**

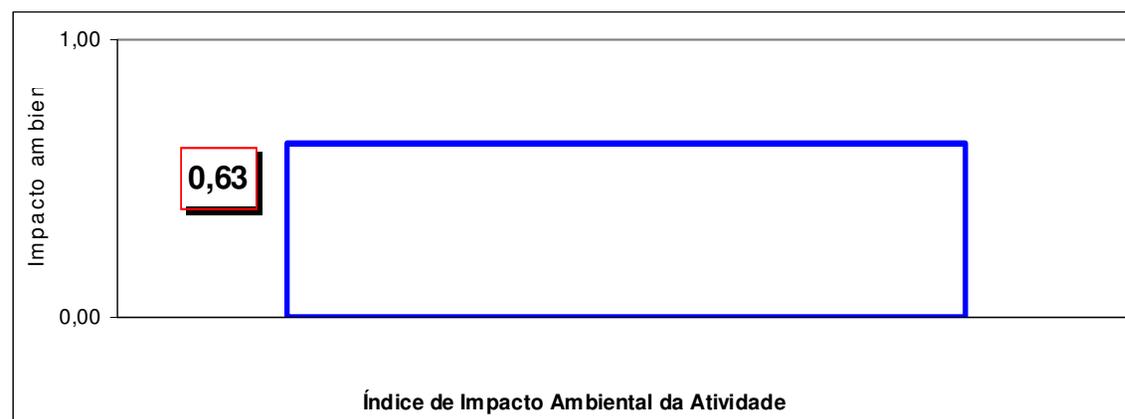
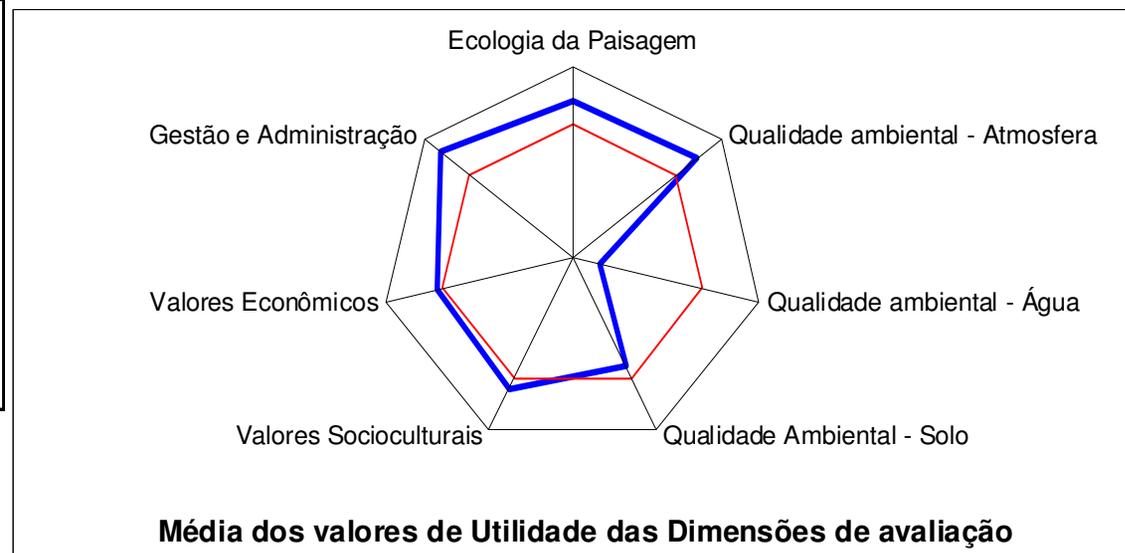
**Qualidade ambiental - Água**

**Qualidade Ambiental - Solo**

**Valores Socioculturais**

**Valores Econômicos**

**Gestão e Administração**



\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 3, segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

## Apêndice 5. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 4\*

### Índice de Impacto Ambiental da Atividade

**Ecologia da Paisagem**

**Qualidade ambiental - Atmosfera**

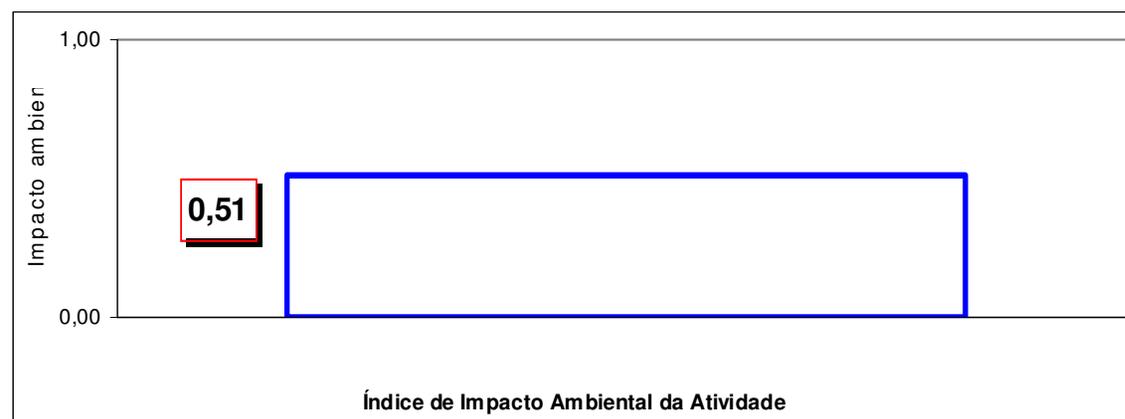
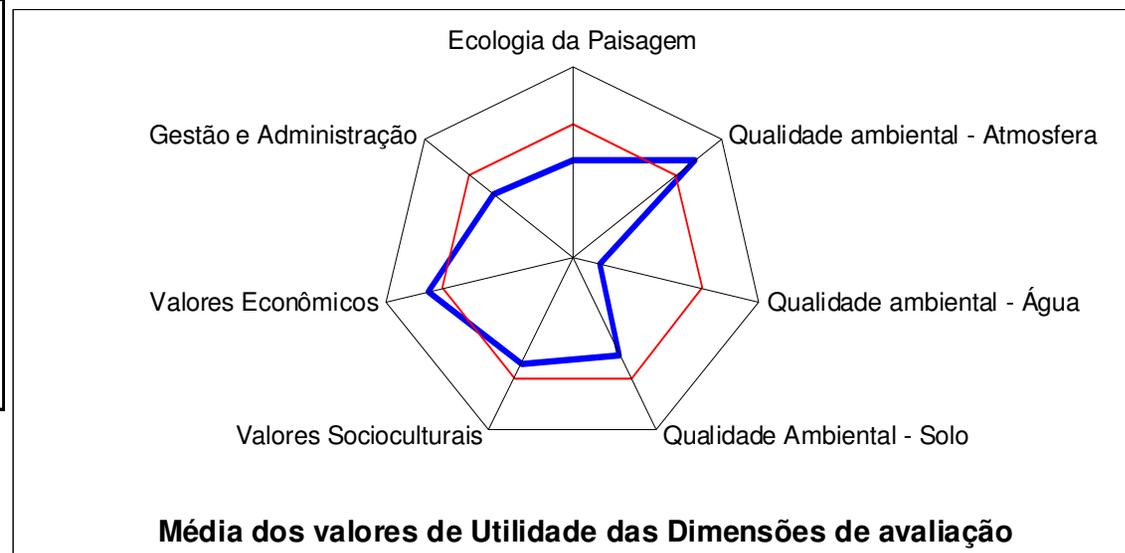
**Qualidade ambiental - Água**

**Qualidade Ambiental - Solo**

**Valores Socioculturais**

**Valores Econômicos**

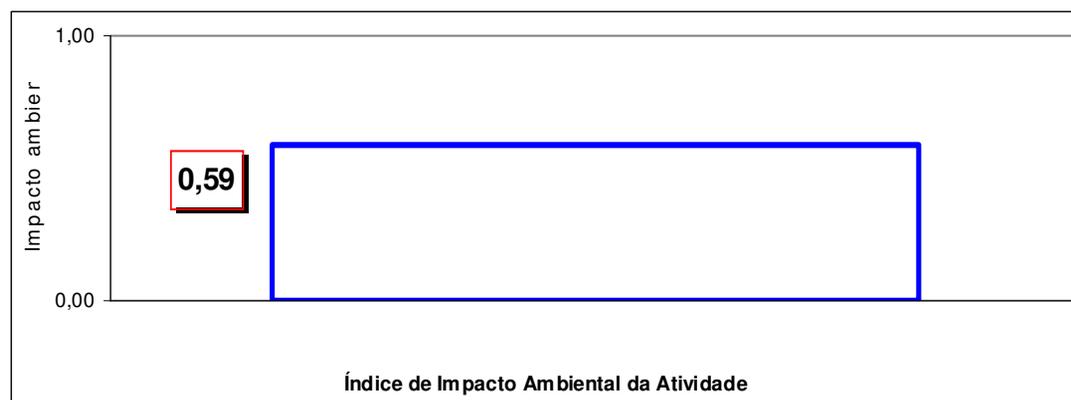
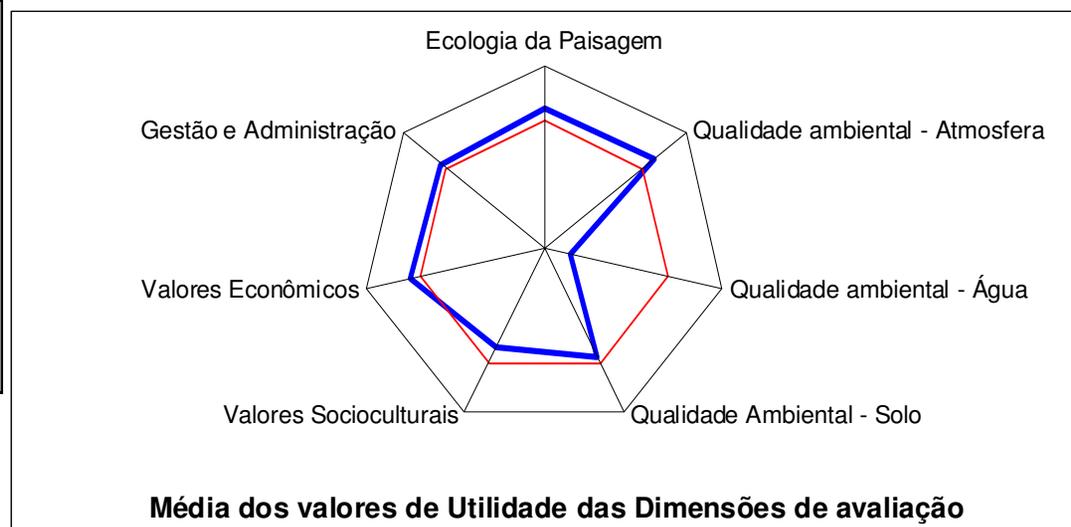
**Gestão e Administração**



\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 4, segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

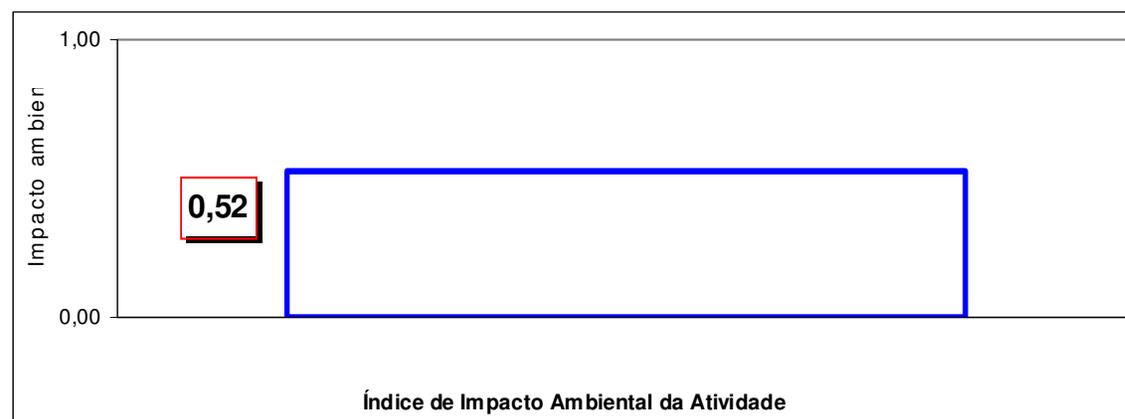
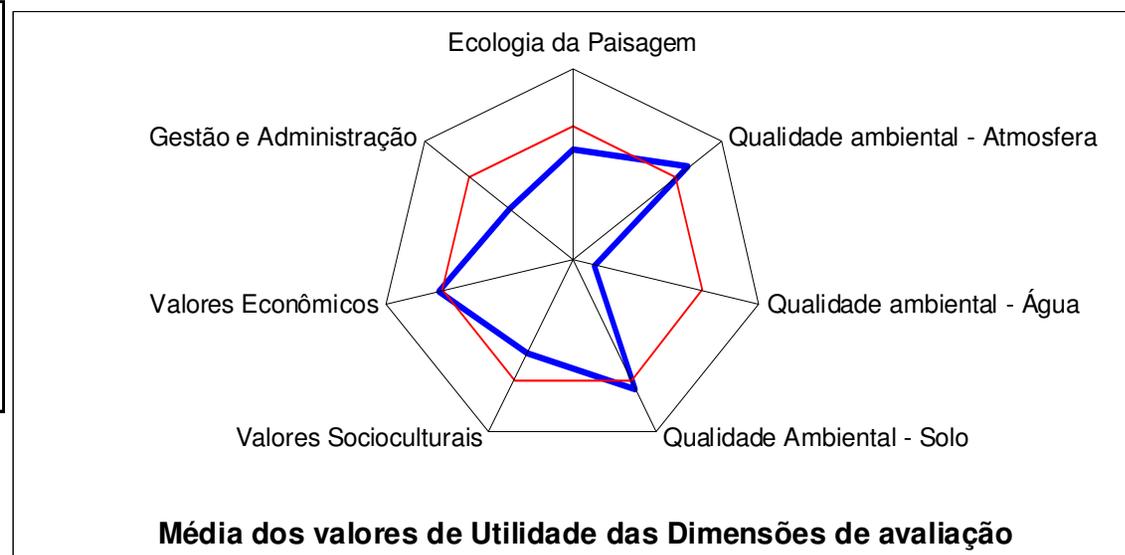
## Apêndice 6. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 5\*

**Índice de Impacto Ambiental da Atividade****Ecologia da Paisagem****Qualidade ambiental - Atmosfera****Qualidade ambiental - Água****Qualidade Ambiental - Solo****Valores Socioculturais****Valores Econômicos****Gestão e Administração**

\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 5 segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

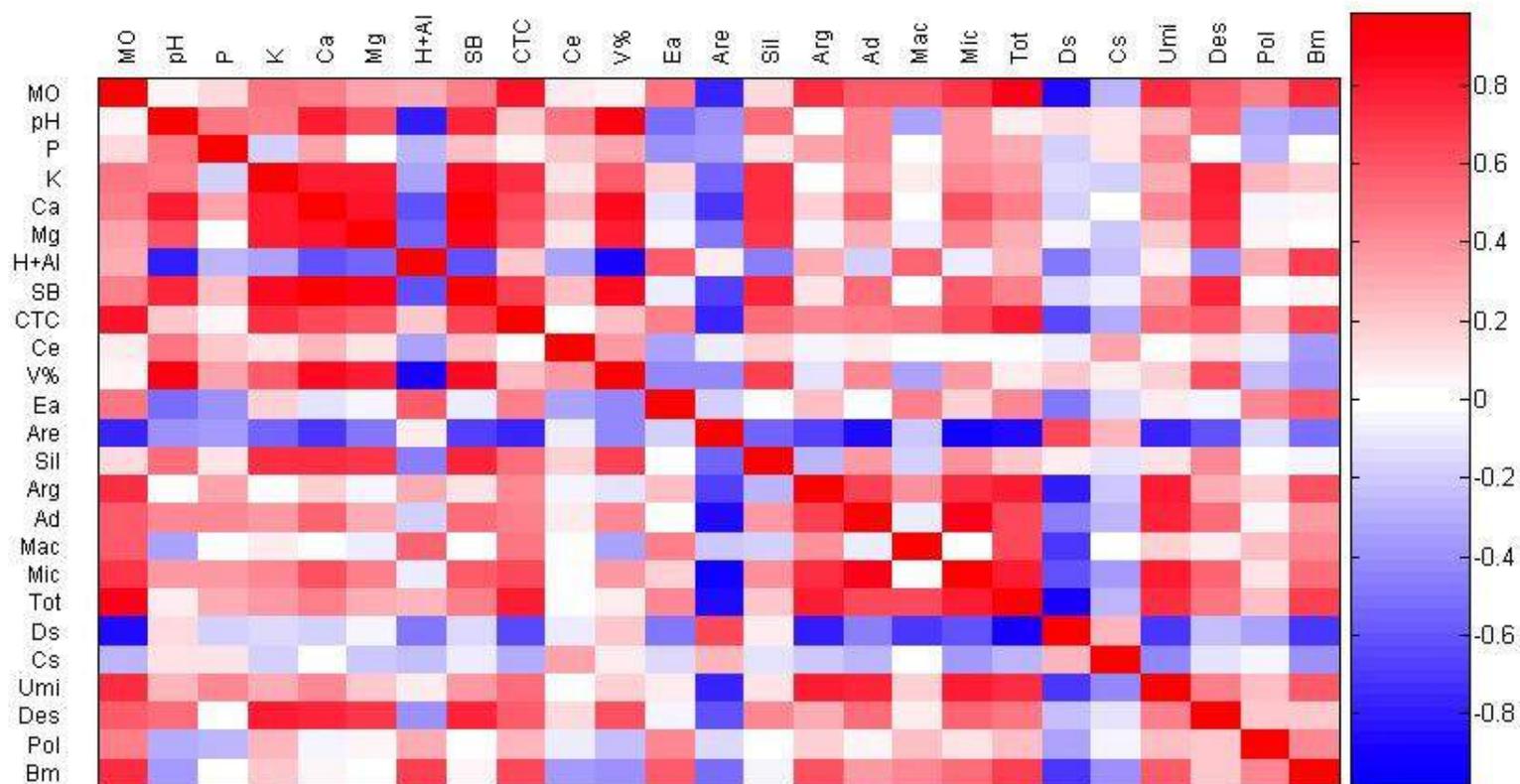
## Apêndice 7. Avaliação de Impacto Ambiental da propriedade 6\*

**Índice de Impacto Ambiental da Atividade****Ecologia da Paisagem****Qualidade ambiental - Atmosfera****Qualidade ambiental - Água****Qualidade Ambiental - Solo****Valores Socioculturais****Valores Econômicos****Gestão e Administração**

\*Avaliação de Impacto Ambiental da Propriedade 6, segundo as dimensões de avaliação do sistema APOIA-NovoRural.

Fonte: Sistema APOIA-NovoRural.

Apêndice 8. Mapa de correlação dos indicadores avaliados.



As variáveis podem ser interpretadas quanto suas correlações, expressas no gráfico segundo sua cor. As variáveis representadas em tonalidades escuras (em azul ou vermelho escuros) possuem correlação positiva, se clara a correlação é baixa ou são variáveis independentes.