



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM
RECURSOS NATURAIS



**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum
officinarum* L.) FERTIRRIGADO COM VINHAÇA.**

RUBENS PESSOA DE BARROS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM
RECURSOS NATURAIS



RUBENS PESSOA DE BARROS

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum
officinarum* L.) FERTIRRIGADO COM VINHAÇA.**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais da Universidade Federal de Sergipe, Área de concentração: Sistemas de Produção Sustentáveis, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agroecossistemas**.

Sob a Orientação do Professor e Pesquisador

Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas.

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE-BRASIL.
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

B277a Barros, Rubens Pessoa de
Atributos biológicos e químicos de um solo cultivado com
cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) fertirrigado com
vinhaça / Rubens Pessoa de Barros. – São Cristóvão, 2009.

84 f. : il .

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade
Federal de Sergipe, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas

1. Agroecossistemas. 2. Agricultura – Qualidade do solo. 3.
Bioindicadores. 4. *Saccharum officinarum*. I. Título.

CDU 631.95

RUBENS PESSOA DE BARROS

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum
officinarum* L.) FERTIRRIGADO COM VINHAÇA.**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais da Universidade Federal de Sergipe, Área de concentração: Sistemas de Produção Sustentáveis, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agroecossistemas.**

APROVADA EM 10 DE FEVEREIRO DE 2009.

Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas
UFS - Universidade Federal de Sergipe
(Orientador)

Profa. Dra. Aldenir Feitosa dos Santos.
UNEAL – Universidade Estadual de Alagoas

Prof. Dr. João Basílio Mesquita.
UFS – Universidade Federal de Sergipe

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE-BRASIL.
2009**

DEDICATÓRIA

À memória dos meus pais,
Aos meus Filhos: Rubens Filho, Rwizziane e Rubiane,
Aos meus alunos de ontem de hoje e de amanhã.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me protegido e dado esta oportunidade de concluir uma etapa da minha vida acadêmica.

Ao Professor Doutor Pedro Roberto Almeida Viégas, por ter acreditado em mim e me apoiado na orientação deste trabalho, principalmente pela sua competência e habilidade em trabalhar a pesquisa.

À Universidade Federal de Sergipe, pela realização deste Curso, através do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Núcleo de Estudos de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

Aos professores do NEREN – Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais da UFS – Universidade Federal de Sergipe, em especial à Professora Doutora Regina Helena Marino, pela paciência em me orientar na pesquisa no Laboratório de Clínica Fitossanitária.

À secretária do NEREN, Rogena Santos do Amaral.

Aos alunos do PIBIC: Richard, Liliane, Thiago e Joly do DEA – Departamento de Agronomia da UFS.

Aos funcionários da Usina São José do Pinheiro da cidade de Laranjeiras-SE, especialmente ao Agrônomo Lívio Augusto Costa, administrador e ao Senhor Aloisio Cordeiro da Silva, chefe de turma.

Ao ITPS – Instituto Tecnológico de Pesquisa do Estado de Sergipe, especialmente ao Professor José do Patrocínio Hora Alves pelas análises químicas do solo realizadas.

À Uneal - Universidade Estadual de Alagoas campus I, em Arapiraca-AL, por ter me dado a oportunidade de me qualificar profissionalmente, de igual modo à Secretaria de Estado de Educação e de Esportes do Estado de Alagoas.

Ao amigo Laelson Lima dos Santos, Médico Veterinário, pelo companheirismo nas aulas do Curso de Mestrado em Agroecossistemas e nas viagens de ida e vinda. (Arapiraca/Aracaju/ Arapiraca).

À professora MSc. Rosângela Lima, docente da Uneal – Universidade Estadual de Alagoas, pela tradução dos resumos.

Aos Professores: Doutor João Basílio Mesquita e Doutora Aldenir Feitosa dos Santos, pela participação na banca examinadora, na defesa desta dissertação.

Aos colegas da turma do Mestrado em Agroecossistemas, ano 2007.

Ao NEPA – Núcleo de Ensino-Pesquisa e Aplicação da Uneal, pelo espaço criado para as pesquisas.

À minha família, especialmente aos meus filhos: Rubiane Kelly, Rwizziane Kalley e Rubens Filho, e a todos que estão comigo.

A todos os meus amigos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. CAPÍTULO 1 – Introdução Geral	1
2. Referencial Teórico.....	5
2.1 Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas	5
2.2 A cultura da cana-de-açúcar em Sergipe	8
2.3 Os solos e a aplicação da vinhaça como fertilizante	10
2.4 Vertissolos	17
2.5 Qualidade do Solo e Sustentabilidade.....	19
3. Histórico da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	22
3.1 Aspectos Botânicos	23
3.2 Aspectos econômicos da cultura.....	24
3.3 Descrição simplificada dos processos industriais	26
3.4 Aspectos nutricionais da cana-de-açúcar	28
4. Microbiota do solo	31
4.1 Fungos.....	32
Referências Bibliográficas	34
5. Capítulo II - Diversidade de fungos em um Vertissolo com adição de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar (<i>Saccharum Officinarum</i> L.).....	45
Resumo	45
Abstract	46
5.1 Introdução	47
5.2 Material e Métodos.....	50
5.3 Resultados e discussão.....	53
Conclusões	57
Referências Bibliográficas	59
6. CAPÍTULO III – Atributos químicos de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (<i>Saccharum Officinarum</i> L.) com e sem adição de vinhaça por longo tempo.	63
Resumo	63
Abstract	64
6.1 Introdução	65
6.2 Material e Métodos.....	69
6.3 Resultados e Discussão	70
6.4 Conclusões	78
Referências Bibliográficas)	79
Considerações Finais	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Caracterização química da vinhaça	10
TABELA 2. Os Impressionantes Números do Setor (Safrá 2006/07)	17
TABELA 3. Produção de Cana de açúcar para todos os fins/ safra 2006/07	25
TABELA 4. Previsão estimativa de Safrá 2007/2008 – Estado de Sergipe	25
TABELA 5. Quadrados médios dos parâmetros microbiológicos (Fungos) em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008	53
TABELA 6. UFC – Unidade formadora colônia de Fungos de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado (Área A) com vinhaça e sem fertirrigação (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008	54
TABELA 7. Valores médios de UFC – Fungos de Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (com e sem fertirrigação com vinhaça) em três profundidades. Laranjeiras-SE UFS, 2008.....	54
TABELA 8. Diversidade de fungos no solo cultivado com cana-de-açúcar (com aplicação de vinhaça-ÁREA A e sem aplicação-vinhaça-ÁREA B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008 ..	56
TABELA 9. Quadrados médios dos parâmetros químicos do solo em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008	70
TABELA 10. Quadrados médios dos teores de Ca + Mg, Na, K e P em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008	71
TABELA 11. Quadrados médios dos teores de micronutrientes em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.....	71
TABELA 12. Teores de pH, M.O., CTC, PST, V e SB de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado (Área A) e sem fertirrigação com vinhaça (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008	72

TABELA 13. Teores de Ca + Mg, Na, K, P, Fe, Cu, Mn e Zn de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado com vinhaça (Área A) e não fertirrigado (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008 73

TABELA 14. Valores médios dos parâmetros da análise química (pH, MO, CTC, PST, V% e SB) de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (com e sem fertirrigação com vinhaça) em três profundidades em duas áreas. Laranjeiras-SE, UFS, 2008..... 75

TABELA 15. Valores médios dos teores de Ca+Mg, Na, K e P de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar em Áreas com e sem fertirrigação com vinhaça em três profundidades. Laranjeiras-SE, UFS, 2008 76

TABELA 16. Valores médios dos teores de Fe, Cu, Mn e Zn de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar em Áreas com e sem fertirrigação em três profundidades. Laranjeiras-SE, UFS, 2008 77

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Mapa do Estado de Sergipe 9
- FIGURA 2.** Evolução da produção de cana-de-açúcar no Estado de Sergipe 10
- FIGURA 3.** Esquema adaptado de Moreira e Siqueira (2006), do método de diluições em série utilizado para avaliação da densidade de fungos e bactérias no solo 52
- FIGURA 4.** Placas de Petri, contendo meio de cultura (CDA + rosa bengala), colonizada com fungos provenientes do solo (com ou sem) vinhaça (A). Dados obtidos da pesquisa na Clínica Fitossanitária da UFS/DEA 52
- FIGURA 5.** Placas de Petri contendo o meio de cultura (CDA + rosa bengala). Dados obtidos da pesquisa na clínica fitossanitária da UFS, com as UFCs (Unidades formadoras de colônias) de Fungos *Aspergillus* spp. (B) 55
- FIGURA 6.** Corpo de Frutificação do Fungo *Aspergillus* spp. (C), visto ao microscópio óptico. Dados obtidos da pesquisa na Clínica Fitossanitária da UFS 57

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
Al	Alumínio.
Ca	Cálcio.
CaCl	Cloreto de cálcio.
CDA	Czapeck-dextrose-ágar
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CO ₂	Dióxido de carbono.
Cu	Cobre
DEA	Departamento de Engenharia Agrônômica.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DQO	Demanda Química de Oxigênio.
DMP	Diâmetro médio ponderado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
Fe	Ferro.
GL	Graus de liberdade.
Ha	Hectare
H ₂	Hidrogênio.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IQS	Índice de Qualidade do Solo
ITPS	Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe.
K ₂ O	Óxido de Potássio.
KCl	Cloreto de potássio.
MO	Matéria Orgânica
m ³	Metros cúbicos
dm ³	Decímetros cúbicos
mg	Miligrama
Mn	Manganês.
Mg	Magnésio.
NBR	Norma Técnica Brasileira.
O ₂	Oxigênio.
P	Fósforo.
Proálcool	Programa Nacional do Alcool
pH.	Potencial hidrogeniônico.
PST	Porcentagem de sódio trocável.
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio.
SB	Soma de bases.
TFSA	Terra fina seca ao ar.
UFC	Unidades formadoras de colônia.
UFS	Universidade Federal de Sergipe.
Uneal	Universidade Estadual de Alagoas.
V	Saturação.
Zn	Zinco

RESUMO

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) FERTIRRIGADO COM VINHAÇA.

BARROS, Rubens Pessoa de. Atributos Biológicos e Químicos de um Solo Cultivado com Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum* L.) fertirrigado com vinhaça. São Cristóvão-SE: UFS. 2009. 84 f. (Dissertação, Mestrado em Agroecossistemas).¹

A agricultura vem passando por grandes mudanças que incluem a introdução de produtos químicos sintéticos, o uso de maquinaria mais sofisticada, a diminuição da diversificação de culturas e a emergência de produtores de grande porte e mais especializados. Conseqüentemente, na evolução da relação homem e o meio surgiram os desequilíbrios ambientais e, resultando disso, a necessidade de dar sustentação aos ciclos básicos que garantem a vida na terra. Por isso é necessário o uso de outras fontes de energia que apóiem para si o conceito de equilíbrio com a Natureza, resultando em indicadores de sustentabilidade dos agroecossistemas. Desta forma, o trabalho objetivou estudar os atributos biológicos e químicos de um solo, cultivado com cana-de-açúcar classificado como Vertissolo fertirrigado com vinhaça, em duas áreas agrícolas da usina São José do Pinheiro, município de Laranjeiras, Sergipe, Brasil. Sendo uma com fertirrigação e a outra sem aplicação de vinhaça. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três tratamentos, ou seja três profundidades: 0-15, 15-30 e 30-45 cm, com dez repetições. Nos atributos biológicos, foram avaliados a densidade e diversidade da população de fungos. Verificou-se que houve efeito significativo da vinhaça no solo para fungos entre as áreas estudadas, principalmente onde a vinhaça é aplicada. A análise estatística revelou que houve diferença significativa nas populações de microorganismos entre as áreas A e B, o mesmo não ocorrendo entre as profundidades. Nos atributos químicos, houve um aporte maior de macronutrientes e micronutrientes nas camadas 0-15 cm e 15-30 cm na área A. O estudo concluiu que a aplicação da vinhaça alterou as condições biológicas, e químicas do solo e que a densidade populacional dos microorganismos, pode ser um bom indicador de qualidade de solo nas áreas estudadas, sendo estes bioindicadores de qualidade do solo. Com as informações obtidas não se pode afirmar que a aplicação da vinhaça degradou o solo, preservando a sua qualidade, demonstrando o seu uso ecologicamente correto.

Palavras-Chave: Agricultura, Qualidade do solo, Bioindicadores, Vinhaça, Sustentabilidade

¹ Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas. Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão-SE. Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais – NEREN.

ABSTRACT

BIOLOGICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A SOIL CULTIVATED WITH SUGAR-CANE (*Saccharum Officinarum spp*) FERTIRRIGATED WITH VINASSE.

BARROS, Rubens Pessoa de. Biological and Chemical Attributes of a Soil Cultivated with Sugar-cane (*Saccharum officinarum spp*) fertirrigated with vinasse. São Cristóvão: UFS. 2009. 84 f. (Dissertation, Master's degree in Agroecosystems).

The agriculture has come to pass by big changes that include the introduction of synthetic chemical products, the use of more refined machinery, the diminution of the diversification of cultures and the emergency of more specialized and large-scale producers. Consequently, in the evolution of the man and the environment relation, the environmental imbalances arose and, as result of that, there is the need of giving support to the basic cycles that guarantee the life in the land. Therefore, it is necessary to use other sources of energy which bring to itself the concept of equilibrium with the Nature, resulting in indicators of sustainability of the agroecosystems. This way, this work aimed to study the biological attributes and chemists of a soil, cultivated with sugar cane classified as Vertisol fertirrigado with vinasse, in two agricultural areas of the São José do Pinheiro plant, in Laranjeiras, in the state of Sergipe, Brazil. One of them with fertirrigation and the other one without application of vinasse. The experimental delineation was in randomized statistical blocks, with three handlings, in other words, three depths: 0-15, 15-30 and 30-45 cm, with ten repetitions. In the biological attributes, the density and diversity of the population of fungi were evaluated, it was verified that it had a significant effect of the vinasse in soil for fungi between the studied areas, mainly in the area where the vinasse is applied. The statistical analysis reveals that there was a significant difference in the populations of microorganisms between the areas A and B, which did not occur between the depths. In the chemical attributes, there was a bigger penetration of macronutrients and micronutrients in the layers 0-15 cm and 15-30 cm. The study concluded that the application of the vinasse altered the biological conditions, and the chemistry of the soil, and that the population density of the microorganisms, can be a good indicator of the quality of the soil in the areas studied, being these bioindicators of the quality of the soil. It cannot be affirmed with the information obtained, that the application of the vinasse degraded soil, preserving its quality, showing its correct and ecological use.

Keywords: Agriculture, Quality of soil, Bioindicators, Vinasse, Sustainability

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde a metade do século passado, a agricultura vem passando por grandes mudanças que incluem a introdução de produtos químicos sintéticos, o uso de maquinaria mais sofisticada, a diminuição da diversificação de culturas e a emergência de produtores de grande porte e mais especializados. Conseqüentemente, na evolução da relação homem e o meio surgiram os desequilíbrios ambientais e, resultando disso, a necessidade de dar sustentação aos ciclos básicos que garantem a vida na terra (COMMAD, 1991).

Dentro deste contexto, surge o objetivo da agricultura sustentável que consiste no manejo e utilização dos ecossistemas agrícolas e de seus recursos naturais, de forma a manter sua diversidade biológica, produtividade, capacidade de regeneração, vitalidade e habilidade de funcionar de maneira que possa satisfazer – hoje e no futuro – significativas funções ecológicas, econômicas e sociais em nível local, nacional e global, com alta produtividade agrícola e sem ameaçar outros ecossistemas (BEZERRA et al., 2000).

O uso eficiente dos recursos naturais nos diversos sistemas de produção deve ser a meta constante nos projetos de implantação de indústrias, principalmente se este empreendimento for utilizar os recursos naturais que podem sofrer degradação. A visão de exploração dos recursos deve ser de forma sistêmica, pois os produtos de origem vegetal ou animal são resultantes de uma complexa interação do homem-natureza, e que redundam na utilização de energia não-renovável seja em residências, comércio ou indústria. Por isso é necessário o uso de outras fontes de energia que aportem para si o conceito de equilíbrio com a Natureza (SACHS, 2002).

Nos diversos avanços biotecnológicos que a agricultura moderna tem vivenciado e incorporado no ciclo produtivo como um todo, nos últimos anos, um que se destaca é a redescoberta de alguns fundamentos ligados ao manejo e ao gerenciamento das áreas produtivas. Esses acontecimentos contemplam objetivos diversos como o uso racional de insumos e um controle mais eficaz dos fatores de produção, a busca pela manutenção da qualidade dos recursos naturais, a identificação das áreas produtivas e de suas potencialidades. O estudo dos impactos ambientais de uma região ou de um processo

produtivo seja ele agrícola agropecuário ou industrial, deve ser baseado em políticas que priorizem o desenvolvimento sustentável, ressaltando suas preocupações com as gerações futuras, com o meio ambiente e com as necessidades básicas da população que está inserida no contexto regional (ALTIERI, 1987).

As preocupações com a conservação do meio ambiente, nas últimas décadas, têm aumentado devido à conscientização de que a qualidade ambiental é a base para a preservação da vida das futuras gerações. Desse modo, o meio ambiente deixa de ser um bem de consumo do setor produtivo e se transforma em patrimônio da humanidade. Partindo destes conceitos e desta visão sistêmica, o manejo dos recursos naturais é para dar lucratividade a quem produz e esses produtos ou co-produtos originados que fazem parte desta interação podem ser devolvidos ao sistema solo-planta. Os solos são vivos e dão suporte aos sistemas de produção, necessitam de manejo adequado para a sua conservação e produtividade (MELO e AZEVEDO, 1997).

Neste aspecto, a cultura da cana-de-açúcar tem importância fundamental neste estudo, visto que, os tempos da colonização brasileira pelos portugueses até os dias atuais, a monocultura canavieira vem sendo instalada em algumas das principais áreas agricultáveis do país. A partir do século XVI, essa foi a primeira atividade agroindustrial do Brasil, que buscou terras férteis e um ponto de apoio para o escoamento da produção para a Europa na Zona da Mata Nordestina dizimando a Mata Atlântica na costa brasileira, que era o principal ecossistema dessa região. Posteriormente, com a consolidação dos mercados, a produção canavieira aos poucos vai se concentrando estrategicamente no estado de São Paulo, principal mercado consumidor do país (SANT'ANNA, 2007).

O principal destaque ao longo da história de formação desse setor, além do longo período de intervenções, é a busca pelo aumento da produção de açúcar e posteriormente de álcool combustível. Essa expansão, que variou de acelerada a moderada conforme vários autores, não foi ambientalmente sustentável uma vez que buscava o aumento da produção a partir da introdução da cultura em novas áreas de plantio, e nem sempre através de um aumento da produtividade da lavoura, ou da injeção de tecnologia nos processos produtivos de fabricação de açúcar e álcool (BRUSEKE, 1995).

No primeiro choque do petróleo na década de 1970, com a implantação do Proálcool como programa nacional de estímulo à substituição e adição de álcool anidro à gasolina, possibilitou-se, devido às características mais limpas do álcool em comparação aos

combustíveis fósseis, uma melhoria nas emissões atmosféricas de poluentes originados a partir da queima de gasolina, principalmente nas grandes cidades (ÚNICA, 2007).

Com essa produção e a conseqüente expansão da indústria alcooleira do país, ocorreu um aumento significativo da produção de álcool, e também da geração de vinhaça, um líquido proveniente da destilação alcoólica, obtida do processo de fermentação para a obtenção do álcool, o qual, na safra 2006/2007, atingiu cerca de 190 bilhões de litros. É bom afirmar que a tecnologia de uso agrícola da vinhaça no cultivo da cana, como fertilizante, foi praticamente desenvolvida no Brasil, por não existir em outro país, uma geração tão grande desse co-produto da cana-de-açúcar (IBGE, 2006).

Porém, antes da aplicação da tecnologia de adição da vinhaça nos solos, muitos problemas ambientais se agravaram principalmente nas regiões onde se localizam as principais usinas canavieiras do país. Dentre esses problemas pode-se destacar: a degradação das bacias hidrográficas através do assoreamento dos rios causada pela erosão e pela ocupação agrícola de áreas geograficamente com relevo não adequado; a compactação dos solos ocasionada pela intensificação da mecanização nas lavouras; a destruição de reservas de matas nativas e ciliares para ampliação das lavouras; o aumento das emissões de CO₂; a eliminação de micronutrientes e da mesofauna a partir das queimadas; a contaminação de cursos d'água na lixiviação de pesticidas e fertilizantes; o aumento da produção do subproduto agroindustrial da produção de álcool, como a vinhaça, principal recorte desta dissertação e os efeitos na qualidade do solo (ROSSETO, 2004).

O levantamento de indicadores de sustentabilidade ou de qualidade do solo pode contribuir para uma busca de soluções para os impactos gerados pelo modelo de desenvolvimento que originam os problemas sociais, econômicos e ambientais enfrentados atualmente pelas sociedades (OLIVEIRA et al., 2007).

Atualmente, a visão ambiental nos sistemas de produção agrícola tem ampliado para atender a demanda agro-sócio-econômica e ecológica e que para alguns estudiosos, essa relação é denominada de agroecossistema, pois visa atender aos aspectos ambientais, e aqueles voltados para o social e econômico, valendo-se destas informações, esta visão é ampliada para a sustentabilidade, baseada no holismo, esta filosofia grega afirma que: “A parte é diferente do todo, mas também é o mesmo que o todo. A essência é o todo e a parte”. Heráclito de Éfeso (544 a.C – 484 a.C.), filósofo grego (TAVARES, 1994).

Para aplicar o conceito de desenvolvimento econômico e sustentabilidade torna-se fundamental o estabelecimento de indicadores, inseridos nestes, os objetivos e metas que

possam dar a medida do desempenho de um sistema de produção agrícola em matéria de sustentabilidade. Uma vez estabelecidas os desafios e metas, pode-se então em qualquer momento que está o sistema, avaliar a distância que separa o país ou a região dos fins que está destinado o agroecossistema (MILANEZ, 2002).

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da aplicação de vinhaça em solos cultivados com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), verificando seus atributos biológicos e químicos.

O trabalho está distribuído em quatro partes da seguinte forma: capítulo I é feita uma introdução geral sobre a temática pesquisada, e uma revisão de literatura, dando enfoque nos indicadores de sustentabilidade dos agroecossistemas, os solos e aplicação da vinhaça como fertilizante, vinhaça e álcool, Vertissolos, qualidade do solo e sustentabilidade, histórico da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.), aspectos botânicos, econômicos, descrição simplificada dos processos industriais, microbiota do solo, fungos, a cultura da cana-de-açúcar em Sergipe. No capítulo II, um estudo da Diversidade de fungos em um Vertissolo com adição de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar. No capítulo III, faz-se um estudo dos atributos químicos de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar com e sem adição de vinhaça por longo tempo. e por fim, as considerações finais desta dissertação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas

Um dos principais instrumentos de gestão para o desenvolvimento da sustentabilidade das atividades humanas, as quais de alguma forma impactam o meio ambiente, são os indicadores de sustentabilidade. Estes indicadores mostram as variações de valores no tempo que ocorrem numa variável pré-definida, sinalizando aspectos do processo analisado que afetam a sustentabilidade do mesmo (QUIROGA, 2002).

Na última década, a humanidade contemporânea chegou a um consenso geral de que o desenvolvimento sustentável é um processo em evolução que se traduz na combinação de quatro vertentes de desenvolvimento de um país ou região para benefício das gerações presentes e futuras: crescimento do setor econômico, melhoria da qualidade do ambiente, melhoria da sociedade, e bem estar social, convertido em melhoria da qualidade de vida para todos os seres que habitam neste planeta. A prática do modelo agrícola que é adotado em uma região que antes era ocupada por um ecossistema natural qualquer, é a principal responsável pelos impactos ambientais nessa área e região (CAMPANHOLA et al., 2001).

Conway (1987) afirma que, os agroecossistemas são sistemas ecológicos modificados pelo homem para produzir comida, fibra ou outro produto agrícola. Os estudos sobre os sistemas de produção têm despertado muitos interesses, tendo em vista serem de fundamental importância para a humanidade e para os ecossistemas naturais. Os avanços tecnológicos utilizados nos agroecossistemas podem contribuir para uma degradação ambiental maior que nos sistemas tradicionais, e isso tem efeitos negativos para a relação água-solo-planta-atmosfera.

A sustentabilidade dos agroecossistemas ganha importância para a manutenção da vida vegetal e animal e com consequência direta para a população humana. A dinâmica dos ecossistemas na vida silvestre é reduzida a um restrito grupo onde se enquadram a colheita, as pestes e as ervas daninhas, que os ecólogos preferem chamar de ervas “danadinhas”. Nos agroecossistemas, os processos básicos da ecologia: competição, herbivoria e predação, ainda permanecem, mas estes são regulados pelos processos da agricultura (cultivo, subsídio, controle, colheita e mercado) (CONWAY, 1987).

Um indicador, segundo Abbot e Guijt (1999), é algo que auxilia a transmitir um conjunto de informações sobre complexos processos, eventos ou tendências. Para Mitchell (1996), um indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Já Beaudoux et al. (1993) afirmam que os indicadores servem para medir e comparar, sendo ferramentas que auxiliam na tomada de decisões e não de métodos. Esses autores ainda destacam que se tem de evitar asfixiar uma ação com uma sujeição demasiado rígida aos indicadores.

Os estudos avançaram na necessidade de definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais e por este motivo, foi proposto o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, que ocorreu no Rio de Janeiro, Brasil (Rio-92) (OLIVEIRA, 2006).

O desenvolvimento de indicadores com o objetivo de avaliar a sustentabilidade de um sistema, monitorando-o, poderá permitir que se avance de forma efetiva em direção a mudanças consistentes na tentativa de solucionar os inúmeros problemas ambientais e sociais levantados (MARZALL e ALMEIDA, 2000; OLIVEIRA, 2006).

Segundo Conway (1987), os agroecossistemas possuem propriedades que possibilitam avaliar se os objetivos e metas aumentam o bem-estar econômico e os valores sociais dos produtores, podendo ser assim descritas:

- **produtividade** de um determinado produto por unidade de recurso que entra numa área;
- **estabilidade** definida como a constância da produtividade em face de pequenos distúrbios que podem ocorrer normalmente e de ciclos ambientais;
- **sustentabilidade** que é a capacidade de um agroecossistema manter sua produtividade quando exposta a um grande distúrbio; e
- **equidade** que é definida como a distribuição da produtividade do agroecossistema. Marten (1988) acrescenta a estas propriedades citadas anteriormente a,
- **autonomia**, considerada como a capacidade do agroecossistema manter-se ao longo dos anos.

Embora o desenvolvimento de indicadores esteja no início pode-se aceitar como um critério geral para a sua seleção se estes devem ser capazes não apenas de sinalizar a

existência de uma degradação no sistema, mas também de advertir sobre eventuais perturbações potenciais (MARZALL et al., 2000).

As atividades humanas têm utilizado com muita voracidade e pressão os recursos naturais e, a partir da chamada revolução verde, com o uso intensivo de defensivos agrícolas, tem-se como resposta, fartura de alimentos, combustíveis e tecnologia, capazes de salvar vidas. Em contrapartida, como resposta negativa tem ocorrido intensa degradação ambiental com diminuição da biodiversidade, contaminação das fontes de água e do solo, ameaça à fauna e flora, explorados nos agroecossistemas que seriam uma opção para minimizar os impactos causados pela humanidade ao meio ambiente (ROSSETO et al., 2004).

O importante não é restabelecer a estrutura original de um ecossistema, mas sim as suas funções, de modo que as necessidades humanas por qualidade de vida sejam atendidas. Os principais objetivos da avaliação de sustentabilidade incluem conservar os recursos naturais, caracterizar e quantificar os principais processos degradativos, identificar características de resiliência e restauração dos recursos solo e água, identificar opções de manejo compatíveis com seu potencial e suas limitações e definir opções políticas para encorajar seu uso sustentável (LANNA, 2002).

O aquecimento global nos últimos anos tem levado vários países e seus governantes a adotarem nova postura de desenvolvimento, no que diz respeito ao uso de energia. A necessidade por etanol tem contribuído para o crescimento da produção elevando a porcentagem deste produto no mercado, desta forma, cerca de 60% de toda cana-de-açúcar produzida no Brasil é transformada em álcool anidro e álcool hidratado, sendo produzido por safra o equivalente a 14 bilhões de litros (IBGE, 2006).

Uma das alternativas energética de sucesso no Brasil é o álcool um biocombustível produzido a partir da cana-de-açúcar (*S. officinarum L.*), originária da Ásia onde é cultivada a vários anos, foi disseminada pelo mundo devido a sua multiplicidade de utilização, pode ser empregada in natura, sob a forma de forragem, rapadura, aguardente, açúcar, etanol (álcool) etc. (SZMRECSÁNYI, 1994).

Quando se trata de indicadores de sustentabilidade no estudo da qualidade de solos, alguns autores relacionam determinados indicadores como fundamentais para a manutenção da sustentabilidade em agroecossistemas de base ecológica nos aspectos dos atributos biológicos, químicos e físicos, tais como: Unidades formadoras de colônias de fungos - UFC, população da biomassa microbiana - PBM, matéria orgânica - MO, potencial hidrogeniônico - pH, horizonte A, macro e micronutrientes, potássio - K, carbono orgânico - CO, carbono

microbiano - CM, densidade - D, porosidade - P, micro/macroporos, diâmetro médio ponderado - DMP, população de minhocas, resistência à penetração, estes indicadores podem interagir e daí extrair-se um índice de qualidade do solo - IQS (CASALINHO et al., 2007).

2.2 A Cultura da Cana-de-Açúcar em Sergipe

Quando se estuda a história do cultivo da cana-de-açúcar (*S. officinarum L.*) em Sergipe, verifica-se que a cultura começou a se desenvolver no século XVIII, atividade econômica que logo enriqueceu e destacou o Vale de Cotinguiba, superando o comércio de gado, inicialmente base da economia da capitania. Chegaram também os primeiros escravos da África para trabalharem na lavoura (CUENCA e MANDARINO, 2007).

Em 1698 foram instaladas as primeiras vilas: Itabaiana, Lagarto, Santa Luzia e Santo Amaro das Brotas. No começo do século XIX, Sergipe tinha economia própria e o seu principal produto era o açúcar. Criava-se gado e produzia-se também algodão, couro, fumo, arroz, mandioca, produtos exportados para as capitanias vizinhas. Em 1763, a Bahia, Sergipe, Ilhéus e Porto Seguro foram reunidos em uma só província, e Sergipe tornou-se responsável por um terço da produção açucareira baiana (HISTÓRIA DE SERGIPE, 2007; apud CUENCA e MANDARINO, 2007).

A cultura da cana-de-açúcar em Sergipe é plantada, principalmente, na Mesorregião do Leste sergipano, na faixa litorânea do Estado, sendo responsável, chegando a concentrar 94% da área e produção estadual em 2005. Embora se tenha observado um declínio no cultivo da cana-de-açúcar, as microrregiões de maior impacto na produção estadual, em 1990 foram: Japaratuba (31%), Baixo Cotinguiba (26%), Cotinguiba (17%) e Própria (15%). Em 2005, houve modificações nas respectivas participações observando um aumento de 42% no Baixo Cotinguiba e 34% em Japaratuba e redução de 15% no Cotinguiba. A variação de maior relevância foi a ocorrida na Microrregião de Própria, devido ao grande desenvolvimento da fruticultura irrigada, principalmente no município de Neópolis. A produção e área colhida com cana no Estado de Sergipe, em 2005, reduziram em 29% (IBGE, 2008; apud CUENCA e MANDARINO, 2007).

Os dados indicam que a produção de cana-de-açúcar no ano de 2005 no estado de Sergipe, revelou que o município de Laranjeiras que faz parte da Grande Aracaju como se vê na Figura 1 (Mapa destaque em vermelho da área da pesquisa) concentrou o maior percentual de participação na produção estadual (23%); seguido de Japaratuba, com 17%, Capela, com

12%; Pacatuba, com 10%; Riachuelo, com 8% e Maruim e Japoatã, com 5%, cada (IBGE, 2008).

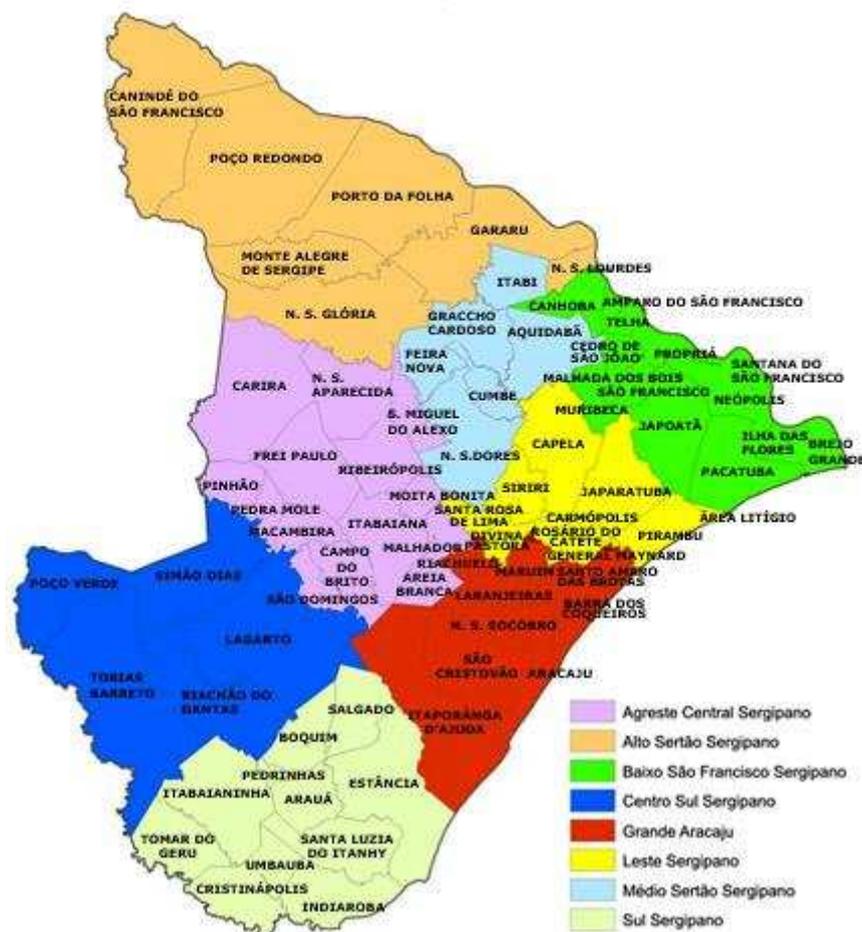


Figura 1. Mapa do Estado de Sergipe.
Fonte: CODISE, (2007).

O Estado de Sergipe (Figura 1) ocupa o 7º lugar na produção de cana-de-açúcar, com uma produção de 786,7 toneladas/ano de açúcar e 1.609,8 toneladas/ano de álcool com um rendimento médio de 62.200 kg/ha (safra 2008/2009). A maior produtora de álcool e açúcar da cana no estado é a Usina São José do Pinheiro (CONAB, 2008).

Conforme dados elaborados pela CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, para a previsão de safra de 2008/2009, divulgada em agosto de 2008, (Tabela 1) houve um aumento na área de plantação no Estado, passando de 36,7 ha na safra de 2007/2008 para 49 ha na safra 2008/2009 (Área em 1.000 ha), sofrendo uma variação positiva de 33,5 % na área plantada de cana-de-açúcar no Estado de Sergipe. Neste período também houve uma variação

na produtividade de 16,3%, passando de 52.310,0 kg/ha para 60.817,00 kg/ha, quando comparada também com o período das safras 2001/2005, Figura 2 e Tabela 1.

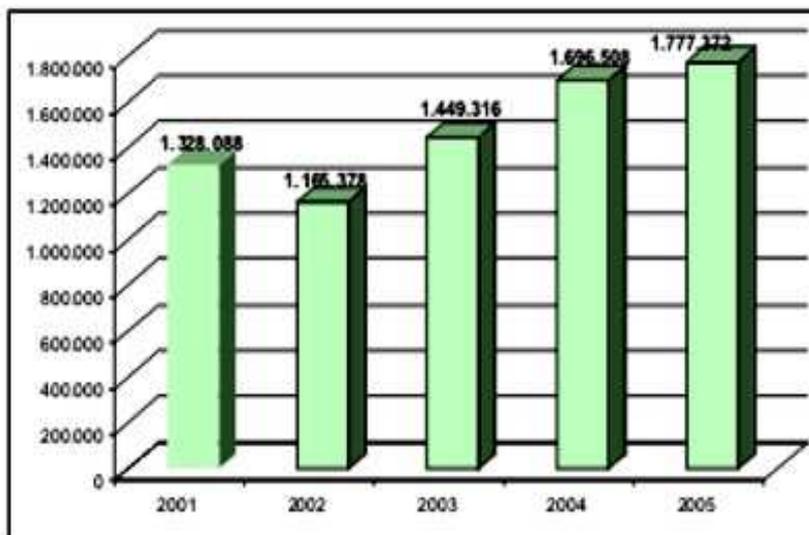


Figura 2. Evolução da produção de cana-de-açúcar no Estado de Sergipe
Fonte: CODISE (2007).

TABELA 1: Previsão estimativa de Safra 2007/2008 – Estado de Sergipe

Área de 1.000 ha	Safra 2006/2007	Safra 2007/2008	Varição %
Produção (Em 1.000 t)	1.626,8	2.232,0	37,2%
Cana para açúcar (Em 1.000 t)	431,1	747,7	73,4%
Açúcar (Em 1.000 t)	51,3	89,1	73,7 %
Cana destinada ao álcool anidro (Em 1.000 t)	439,2	468,7	6,7%
Álcool anidro (Em 1000 t)	32.021,5	38.782,1	8,6%
Cana destinada ao álcool hidratado (Em 1.000 t.)	301,0	312,5	3,8%
Álcool hidratado (Em 1.000 t)	22.243,1	23.094,1	3,8%

Fonte: CONAB –3º Levantamento: novembro/ 2008.

2.3 Os Solos e Aplicação da Vinhaça como Fertilizante

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo

matéria viva e ocupando a maior porção do manto superficial das extensões continentais do planeta (EMBRAPA, 1999).

A incorporação de novas áreas ao processo produtivo, seja agrícola, pastoril, silvícola ou minerário, interfere no equilíbrio e na dinâmica de qualquer ecossistema (GODOI, 2001).

Em se tratando de solos, ocorre inicialmente a exposição a intempéries após a retirada da cobertura vegetal nativa e, nos casos agro-silvo-pastoris, a substituição da cobertura natural nativa se dá por meio da introdução de espécies forrageiras ou agrícolas, podendo ocorrer alterações de natureza física, química e biológica no solo. O cultivo em solos tropicais apresenta maior ameaça ambiental, uma vez que estes são facilmente degradados (SIQUEIRA et al., 1994).

Um conhecimento mais aprofundado do processo de degradação e recuperação dos solos é fundamental para o delineamento de diretrizes de exploração capazes de garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas (ANDRADE et al., 1996).

Segundo Hungria et al. (1995), sistemas de manejo de solo e de restos culturais que provoquem poucas alterações e permitam a manutenção ou incremento dos teores de matéria orgânica do solo podem melhorar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas e ainda favorecer a população microbiana (LANNA, 2002).

Os solos têm apresentado diferentes capacidades para a retenção de elementos orgânicos e inorgânicos. Essa retenção e a movimentação de elementos solúveis são determinadas por alguns atributos, tais como a textura e a porosidade do solo e pela característica de cada superfície coloidal, a qual influenciará na solubilidade e troca de íons por processos químicos, devido à complexa ação e na capacidade de reação redox dos elementos ativos na solução do solo, sendo que essas propriedades são fortemente influenciadas pela riqueza de matéria orgânica existente e pela drenagem do solo (SILVA et al., 2007).

Em determinados casos, as características e presença da flora influenciam a dinâmica da água, notadamente como fator de redução da evaporação, aumento da capacidade de infiltração e proteção do solo, a presença de cobertura vegetal favorece, ainda, a implementação da qualidade física do solo uma vez que possibilita melhoria na agregação e elevação da resistência a erosão hídrica, contribuindo para elevar seu potencial agrícola, porém quaisquer alterações na composição química e estrutura do solo serão refletidas nas características físicas e químicas da água (SILVA et al., 2007).

Nos últimos anos, o governo federal tem trabalhado com um estímulo relevante à produção de álcool como combustível, é certo que este empreendimento foi iniciado com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) que, embora tenha sido criado em 1975, teve um grande incentivo após o segundo choque do petróleo, em 1979, e somente na década de 80, é que ocorreu um crescimento mais vigoroso nos investimentos, subsídios e produtividade; desta forma, as áreas de produção de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) vêm aumentando continuamente (SILVA et al., 2007).

Paralelo ao aumento da produção de álcool é também acompanhado da produção de vinhaça, um subproduto oriundo da sua fabricação. Para cada litro de álcool são produzidos de dez a dezoito litros de vinhaça, cuja composição varia dependendo principalmente da composição do vinho (SILVA et al., 2007).

Quando é utilizada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade; todavia, quando usada com este objetivo, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser avaliadas para a mensuração adequada de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades sem uniformidade de balanceamento de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, incluindo o nitrato e o potássio (SILVA et al., 2007).

A utilização da vinhaça de forma racional como fertilizante orgânico, através da fertirrigação, ocorreu após os estudos para o seu melhor aproveitamento, obtendo-se efeitos positivos sobre a produtividade agrícola por hectare e prolongando o ciclo da cana soca. Com isso, a sua utilização nos plantios de cana-de-açúcar vem mudando, nas últimas décadas, o conceito que se tinha da vinhaça como um resíduo poluente. Isso ocorreu após os desastres ecológicos nos cursos d'água. (RODELLA, 1980); (FREIRE e CORTEZ, 2000).

De acordo com a Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - Coopersucar (1993), a vinhaça é um resíduo de consistência líquida, que se enquadra na definição de resíduo sólido, segundo os critérios da Norma Brasileira - NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas e Técnicas - ABNT (1987), pois lhe falta um tratamento convencional adequado, sendo este lançado diretamente no solo como fertilizante na lavoura canavieira.

A vinhaça foi caracterizada por Almeida (1955) como fator de fertilização ou de correção dos solos, é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais, contribuindo para elevar o pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo; melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; aumenta a microflora, proporcionando

mais fácil nitrificação e conferindo-lhe maior índice de fertilidade. Voll (2005) afirma que a vinhaça aplicada ao solo, propicia à cana-de-açúcar condições mais favoráveis ao seu ciclo vegetativo, aumentando sua riqueza sacarina e a pureza do caldo, se cortada no momento correto.

Larrahondo et al. (2000) citado por Voll (2005) relatam que a vinhaça apresenta na sua composição 15 ácidos orgânicos, dentre os quais em maior concentração o glicerol (2,7%), seguido pelo ácido aconítico (1,8%), o sorbitol (1,4%) e o ácido láctico (1,3%). Voll (2005) relata ainda que todos estes compostos são facilmente degradados por microrganismos. Sendo desta forma, a composição química da vinhaça poderia ter favorecido ao crescimento da população microbiana se não fosse feita a queima no ciclo anterior.

Segundo McCarty et al. (1998), a incorporação da matéria orgânica pelo sistema de plantio direto favorece a transição da biomassa microbiana da superfície (0-5 cm) para camadas mais profundas (5-20 cm), após três anos. Venzke Filho (2003) cita que a biomassa microbiana nas camadas mais superficiais podem ser equivalentes às camadas mais profundas, até 20 cm, após 10 anos de cultivo pelo sistema de plantio direto. Este autor relata que a incorporação da matéria orgânica ao solo melhora a estrutura física do solo a longo prazo reduzindo o efeito da textura sobre o desenvolvimento da população microbiana. Galdos (2007) também menciona que o tempo de cultivo do solo pode influenciar na atividade microbiana.

A adubação é uma prática agrícola indispensável para o acréscimo ou manutenção dos níveis de produtividade adequada e que contribui com êxito no custo de produção da cana-de-açúcar, tornando-se necessário o uso correto dos fertilizantes, para se obterem produções cada vez mais econômicas.

Segundo Almeida et al. (1950), uma das possibilidades mais viáveis de utilização da vinhaça é sua aplicação "in natura" aos solos cultivados com soqueira de cana-de-açúcar. Os efeitos favoráveis no sistema solo-planta incluem a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, já conhecidas, o que favorecerá as condições para o desenvolvimento da cana, a restauração, a conservação e o aumento da fertilidade do solo.

A vinhaça, por ser um resíduo líquido muito ácido, acredita-se que quando aplicada ao solo, seu efeito provoca um aumento da acidez que gradativamente passa a redução da acidez devido à grande atividade microbiana que se inicia em função da adição de matéria orgânica presente na vinhaça (ROSSETO, 1987); (SILVA e RIBEIRO,1998)

Glória (1975) e Glória e Magro (1977), em trabalhos inovadores, verificaram que dosagens muito altas eram recomendadas inicialmente, (500 até 2000 m³.ha⁻¹), em usinas no estado de São Paulo; discutiram formas mais racionais para o uso, levando em conta a composição química da vinhaça e a aplicação desta como um fertilizante; as condições dos solos e da cultura e recomendando, portanto, dosagens bem menores, de acordo com o teor de K contido na vinhaça. Desta forma, ocorreram benefícios econômicos da substituição total ou parcial da adubação química. Os teores de matéria orgânica contidos na vinhaça também foram responsáveis por melhorar as características físicas e químicas dos solos, elevando sua fertilidade e o patamar de produtividade de muitos solos cultivados com cana.

Muitos autores estudaram os efeitos da vinhaça nos solos e ao longo do tempo, concluíram que: a adição da vinhaça “in natura” aos solos é uma boa opção para o aproveitamento deste resíduo, uma vez que ele é rico em um excelente material fertilizante e proporciona benefícios nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo; a vinhaça eleva o pH dos solos; aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), uma característica distinta dos Vertissolos; e segundo Prado (2005), a disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo (formação de estruturas mais estáveis pela adição de matéria orgânica), aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo. Eventuais efeitos maléficos causados aos solos ou às plantas foram normalmente decorrentes de doses excessivas (LEME et al., 1987; GLÓRIA e ORLANDO FILHO, 1983; FERREIRA e MONTEIRO, 1987; CAMARGO et al., 1999).

Após a aplicação da vinhaça no solo verifica-se que o pH do solo diminui até os primeiros 15 dias, sendo que com o passar do tempo, o resultado final indica elevação do mesmo. Em geral, quando se adiciona material orgânico ao solo em condições aeróbicas ocorre a oxidação do carbono orgânico, que perde elétrons que são recebidos ou pelo O₂ gerando o íon O₂⁻, que apresenta forte característica básica, ou pelo íon H⁺, consumindo os íons geradores de acidez. Outra possível reação é a complexação entre o Al⁺³ e ânions orgânicos presentes na vinhaça. A multiplicação de microrganismos e as transformações da matéria orgânica, principalmente do N, através da redução do nitrato para nitrito, consome íons H⁺, com conseqüente elevação do pH (LEAL et al., 1983).

Os efeitos de elevação do pH do solo podem ser efêmeros conforme comenta Rodella et al. (1983), sendo que o pH do solo deve retornar aos valores originais após um determinado período de tempo. A elevação da CTC ocorre pelo grande aporte de matéria orgânica representado pelas adições da vinhaça. Pela característica coloidal da matéria orgânica contida

na vinhaça, sua adição confere ao solo uma maior quantidade de cargas negativas, diminuindo a lixiviação de cátions e aumentando conseqüentemente a CTC (GLÓRIA e ORLANDO FILHO, 1983).

O efeito positivo da vinhaça na produtividade da cana foi relatado por muitos pesquisadores, em praticamente todas as variedades nas mais diversas condições de solo e clima, e é visível nas áreas comerciais. A vinhaça elevou o patamar de produtividade de muitos solos, quer pelo aporte de matéria orgânica como pelos nutrientes contidos, principalmene o potássio (CUNHA et al., 1981)

A dose utilizada prevê a quantidade suficiente de fornecimento de potássio para o ciclo da soqueira. Como a cana tem consumo de luxo em relação ao potássio, é possível que em muitas áreas, a dose de vinhaça possa adicionar quantidades de potássio maiores do que as necessárias. Evidentemente, a vinhaça não é um fertilizante completo, que supre todas as necessidades da cana, de forma que, muitos pesquisadores se dedicaram a estudar como, quando e com o que, complementar a vinhaça (SILVA e ORLANDO FILHO, 1981).

Apesar de seu alto valor agrônômico, refletido no aumento da produtividade da cana, constatou-se o efeito negativo de doses altas de vinhaça na qualidade da matéria prima para a produção de açúcar. Silva et al. (1976), realizaram um trabalho com 16 variedades de cana plantadas com e sem irrigação de vinhaça na dose de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, cuja composição possui cerca de $590 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K_2O . Como conclusões, verificaram que a adição de vinhaça ao solo, com alto teor de potássio, atrasou a maturação, reduziu o teor de sacarose e de fibras e promoveu o acúmulo de cinzas no caldo, prejudicando a matéria prima principalmente para a produção de açúcar.

Mendonza et al. (2000) recomendam que se conheça a composição química da vinhaça (Tabela 2) para que se possa orientar com segurança qual a dosagem a ser aplicada, uma vez que há diversos fatores que interferem em sua composição, destacando a natureza e a composição da matéria-prima.

Segundo Vasconcellos e Oliveira (1983), a vinhaça pode ser formada a partir de três mostos diferentes, o que lhe confere níveis variáveis para cada elemento mineral. O mosto de melaço é o mais rico apresenta em média níveis de NPK com cerca de 0,57; 0,10; $3,95 \text{ kg/m}^3$ de vinhaça, respectivamente. O mosto misto, que é produzido em usinas com destilarias, apresenta níveis com cerca de $0,48 \text{ kg/m}^3$ de N, $0,09 \text{ kg/m}^3$ de P e $3,34 \text{ kg/m}^3$ de K e, o mosto de caldo, produzido em destilarias isoladas, apresenta os níveis de NPK em kg/m^3 de vinhaça, 0,28; 0,09; 1,29 respectivamente (RODELLA, 1980).

Coelho (1981) ressaltando a importância deste subproduto, afirma que o uso agrícola da vinhaça e os seus benefícios ao solo são indiscutíveis, tanto do ponto de vista agrônomo, econômico, quanto social. Por sua vez, a utilização da vinhaça na fertirrigação promove a adição de nutrientes ao solo, elevação da umidade e do pH e melhora a resistência do solo à erosão, resultando no acréscimo da produtividade agrícola (CAMBUIM, 1983).

No cultivo de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.), para se obter uma grande produtividade, é necessário que o solo tenha boas quantidades de nitrogênio, fósforo e, principalmente, potássio o qual é o nutriente extraído do solo em maior quantidade por essa cultura (ORLANDO FILHO et al., 1983).

É importante lembrar que a vinhaça é um material de origem orgânica, sem a presença de metais ou outros contaminantes que impeçam seu uso agrícola. Nesse sentido, é perfeitamente aceita pela agricultura orgânica, e não existem restrições ao seu uso como fonte de nutrientes pelas certificadoras. A vinhaça representa uma fonte de K importante a ser considerada na atividade da agricultura orgânica. Para a produção do açúcar orgânico, a vinhaça pode suprir todo o N e todo o K necessários pela cana (WORKSHOP TECNOLÓGICO TERMO DE REFERÊNCIA VINHAÇA, 2007).

Sua aplicação é realizada de diversas formas, como por exemplo, por caminhões-tanque, por sulcos de infiltração, por aspersão e, atualmente, existe a possibilidade da aplicação desse resíduo diluído por meio de pivôs centrais (LEME, 1993).

TABELA 2. Caracterização química da vinhaça.

Caracterização da vinhaça	Unidade	Mínimo	Médio	Máximo
pH		3,50	4,15	4,90
Temperatura	°C	65	89	111
DBO	mg/L	6680	16950	75330
DQO	mg/L	9200	28450	97400
Sólidos totais	mg/L	10780	25155	38680
Sólidos suspensos totais	mg/L	260	3967	9500
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1509	18420	33680
Resíduos sedimentáveis	mg/L	0,20	2,29	20,00
Nitrogênio	mg/L	90	357	885
Nitrogênio amoniacal	mg/L	1	11	65
Fósforo total	mg/L	18	60	188
Potássio total	mg/L	814	2035	3852
Cálcio	mg/L	71	515	1096
Magnésio	mg/L	97	226	456
Manganês	mg/L	1	5	12
Ferro	mg/L	2	25	200
Sódio	mg/L	8	52	220
Cloreto	mg/L	480	1219	2300
Sulfato	mg/L	790	1538	2800
Sulfito	mg/L	5	36	153
Etanol	% v/v	0,01	0,09	1,19
Levedura	% v/v	0,38	1,35	5,00
Glicerol	% v/v	0,26	0,59	2,50

Fonte adaptada de: ELIA NETO, A e NAKAHODO, T. (1995). In: CTC Centro de Tecnologia Canavieira. UNESP/ Jaboticabal, (2007).

2.4 Vertissolos

Os Vertissolos são solos de coloração acinzentada ou preta, sem diferença significativa no teor de argila entre a parte superficial e a subsuperficial do solo. No entanto, a característica mais importante é a pronunciada mudança de volume com a variação do teor de

umidade devido ao elevado teor de argilas expansivas (argila de atividade alta), tendo como feição morfológica característica e facilmente identificável, a presença de fendas de retração largas e profundas que se abrem desde a superfície do solo nos períodos secos. São de elevada fertilidade química, mas apresentam problemas de natureza física. Ocorrem, predominantemente, na zona seca do Nordeste, no Pantanal Mato-grossense, na Campanha Rio Grandense e no Recôncavo Baiano (OLIVEIRA et al., 1992).

No Estado de Sergipe estão normalmente associados com Chernossolos e, da mesma forma que estes, são originados a partir de calcários e folhelhos de formações cretáceas, localizada na Bacia Cretácea, representada por duas áreas contíguas, separadas pela estreita várzea do rio Siriri, próximo ao município de Rosário do Catete, presentes em uma área aproximada de 58,4 km², ou 0,35 da área do Estado. Os solos desta classe apresentam elevada fertilidade natural, sendo, porém de difícil manejo, com sérios problemas de mecanização devido à presença conspícua de argilas expansivas, resultando em intenso fendilhamento e dureza quando estão secos e grande pegajosidade quando molhados. Outra desvantagem desses solos é sua drenagem imperfeita. (SOBRAL et al., 2007).

Nos Vertissolos, o nutriente potássio apresenta-se com elevado teor, responsável por uma pequena exigência de aporte de fertilizantes. Estes solos são constituídos pela parte mineral, apresentando pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural, apresentando alta saturação e soma de bases, destacando-se o cálcio e o magnésio, e com elevada capacidade de troca catiônica, motivada pela grande quantidade de argila do grupo da montmorilonita (LYRA et al., 1995).

Este solo encontrado na região oriental da república do Uruguai, em região basáltica, apresenta-se com argilas expansivas (montmoriloníticas 2:1) e alto teor de matéria orgânica, cerca de 8% no horizonte superior. O conhecimento da variação da resistência à penetração com a umidade do solo permite estabelecer pautas de manejo que procurem preservar a qualidade física dos Vertissolos. Um fator limitante dos Vertissolos é sua má consistência. Estes solos são muito plásticos e pegajosos quando úmidos e seus agregados são muito duros quando o solo está seco. Estas características dificultam seu manejo e neste aspecto estão em desvantagem frente a outros solos também férteis e de drenagem moderada, quanto a sua aptidão para o uso nas áreas agrícola. Os altos conteúdos de argilas expansivas que apresentam estes solos, lhe conferem certas características que incidem em seu compartimento físico e que são importantes do ponto de vista do manejo agrônômico dos mesmos. Fato esse que pode ter influenciado diretamente nos resultados deste trabalho, já que

o tipo de solo predominante na usina é o Vertissolo, comuns na região Nordeste. (PRADO, 2005); (DURAN, 1985; PUENTES et al., 1988); (GALDOS (2007).

Os estudos relatam que estes solos possuem elevado teor de argila e possuem baixa condutividade hidráulica, que provocam acúmulo prolongado de água nas camadas mais superficiais, sendo esta uma propriedade física que reduz a disponibilidade de água. Desse modo, a água ocupa os espaços porosos do oxigênio, e a falta de O₂ prejudica a ação da estimulação enzimática formadora do etileno, comprometendo o melhor efeito de maturadores da cana-de-açúcar e dos microorganismos (PRADO, 2005).

2.5 Qualidade do Solo e Sustentabilidade

A avaliação da sustentabilidade ambiental é muito importante quando se usa os indicadores de qualidade do solo, ou seja, isso pode ser definido, como a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do agroecossistema; sustentando a produtividade biológica e a manutenção da qualidade ambiental e promovendo a saúde da fauna e flora (DORAN, 1997).

A utilização racional dos solos de forma intensiva, empregando práticas tradicionais de manejo de solo e cobertura vegetal, evidencia a necessidade urgente de novas posturas e práticas de manejo do solo eficientes, pois os efeitos físicos, químicos e biológicos que decorrem, acabam assumindo uma grande importância na qualidade dos solos (DORAN e PARKIN, 1994; TAVARES FILHO et al., 1999).

A sustentabilidade do uso do solo agrícola requer a manutenção de suas propriedades dentro de níveis de variação que permitam sua restauração sem afetar a produtividade e o meio ambiente (COLOZZI-FILHO et al., 1999).

A avaliação da qualidade do solo é realizada através da seleção de algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos-indicadores. A eficiência desses indicadores revela a sensibilidade nas variações do manejo, bem como as correlações com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, e ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (DORAN e PARKIN, 1994; DORAN e ZEISS, 2000).

Conforme afirma Carvalho (2006), o critério para a seleção de indicadores relaciona-se, principalmente, com a utilidade em definir os processos correntes no ecossistema. Estes integram as propriedades físicas, químicas e biológicas, além da sensibilidade a fatores com manejo, poluição e variações climáticas, bem como a ação antrópica (DORAN, 1997).

A estrutura é uma das propriedades físicas do solo, um atributo sensível ao manejo, cuja qualidade pode ser analisada segundo variáveis relacionadas com sua forma e, ou com sua estabilidade. O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam na resistência e na resiliência do solo a uma determinada prática agrícola (COSTA et al., 2003).

A estrutura do solo também se constitui em um dos atributos importantes para o estudo porque complementa e avalia o arranjo entre sólidos e vazios. As avaliações quantitativas podem ser de modo indireto (quantidade de agregados estáveis em água ou a seco, ou resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva simulada), ou direto pelos atributos de densidade do solo, porosidade, índices de flocculação, e infiltração do solo (MENDES et al., 2006).

A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento de permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica e aumento da qualidade do solo (WISCHMEIER, 1959).

A complexidade da avaliação dessa qualidade se dá pelos atributos do solo, devido a multiplicidade das inter-relações entre os fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à variação tempo-espaço (GIL-SOTRES et al., 2005; HAYNES, 2005).

A densidade da partícula característica do solo, dependente dos constituintes da fração sólida do solo e determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades, é um outro atributo que pode ser avaliado. Por este fato da densidade da matéria orgânica variar de 1,0 a 1,3 Mg m⁻³ e a densidade da parte mineral variar de 2,50 a 5,20 Mg m⁻³ (FERREIRA e DIAS JUNIOR, 1996), valores próximos dos referidos podem indicar dominância de partículas orgânicas ou minerais na fase sólida.

A porosidade, fração do volume ocupado com solução e ar do solo de grande importância aos processos físicos, químicos e biológicos, com infiltração, condutividade, drenagem, retenção de água, difusão de nutrientes, crescimentos de microrganismos, raízes e pêlos absorventes (BOUMA, 2002).

O conteúdo e a qualidade da matéria orgânica também constituem atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. A manutenção da quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo é importante, pois ela tem

papel fundamental na estruturação, fertilidade e atividade biológica do ecossistema solo (MIELNICZUK, 1999).

A matéria orgânica do solo apresenta-se como um sistema complexo de substância, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por transformação contínua sob ação de fatores físicos, químicos e biológicos (CAMARGO et al., 1999).

Os sistemas de produção agrícola com intensa mobilização do solo, desflorestamento e queima de campos naturais destacam-se por proporcionar diminuição na quantidade de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, redução na qualidade do solo (SPAGNOLLO, 2004).

A biomassa microbiana do solo pode ser definida como o componente vivo da matéria orgânica, compondo uma população de fungos, bactérias, microfauna e algas, essa biomassa viva tem fundamental importância na transformação da matéria orgânica, nos ciclos biogeoquímicos e no fluxo de energia de interesse para a produtividade agrícola (JENKINSON e LADD, 1981; DE-POLLI e GUERRA, 1997).

Karlen et al. (1997) construíram quatro taxas para indicar a qualidade do solo, baseados em suas funções e habilidades: 1) capacidade de entrada de água; 2) retenção e suprimento de água para as plantas; 3) resistência à degradação; e 4) suporte para o crescimento da planta.

A aplicação de fertilizantes no solo durante décadas em um sistema de produção pode ser objeto de estudo pelo impacto ambiental que tem apresentado nos diversos agroecossistemas e a aplicação da vinhaça, com as suas qualidades químicas, também pode servir de parâmetro para estudos e avaliações, nos indicadores da qualidade do solo.

A avaliação da qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados a sua variação temporal e espacial. O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade é com relação ao desenvolvimento de metodologias adequadas para avaliação da qualidade do solo e do ambiente sob a interferência do homem (MENDES, et al., 2006).

3. Histórico da Cana-de-Açúcar (*S. officinarum* L.)

Conforme relata o pesquisador Roberto Cesnik da Embrapa Meio Ambiente de Jaguariúna-SP. As primeiras notícias sobre a existência da cana-de-açúcar encontram-se anotadas nas escrituras mitológicas dos hindus e nas Sagradas Escrituras. Até o século XVIII foi considerada como remédio e mesmo artigo de luxo. Apareceu primeiramente nas ilhas do Arquipélago da Polinésia. As caravelas, antes de iniciarem suas viagens, levavam mudas de cana-de-açúcar junto às suas provisões, para serem plantadas em novas terras e servirem de suprimentos às novas expedições.

Foi assim que ela foi introduzida nas Américas através da segunda expedição de Cristóvão Colombo, em 1493 e, no Brasil em 1502, por Martim Afonso de Souza, proveniente de mudas da Ilha da Madeira. Há registro na alfândega de Lisboa de entrada de açúcar brasileiro nos anos de 1520 e 1526 (CESNIK et al., 2004).

Portanto, continua o pesquisador: “o início da indústria açucareira brasileira é anterior a essas duas datas. Historiadores divergem sobre a instalação do primeiro engenho de açúcar no Brasil, o que não nos interessa neste momento. Seu cultivo está intimamente ligado à própria história e ao desenvolvimento do nosso país. Primeiramente transformada em açúcar, e hoje também em álcool carburante, ela ocupa um papel de destaque na economia mundial, surgindo o Brasil como líder na produção de açúcar e álcool. Entretanto, uma maior produtividade só pode ser conseguida se além dos tratamentos culturais, for dada também uma alta qualidade genética através de programas de melhoramento”, conclui.

A cana-de-açúcar foi descrita por Linneu, em 1753, como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*. De Linneu para cá a sua classificação sofreu inúmeras modificações. Atualmente a maioria dos técnicos aceita aquela feita por Jeswiet, qual seja: gênero: *Saccharum*; espécies: *S. barberi*, Jeswiet; *S. edule*, Hask; *S. officinarum*; *S. robustum*, Jeswiet; *S. sinensis*, (Roxb) Jeswiet e *S. spontaneum*, L. As canas plantadas no mundo inteiro, são híbridos dessas variedades botânicas. Entretanto, convencionou-se chamar todos esses híbridos de ‘variedades’ dando-lhes nomes compostos de siglas da instituição que efetuou o cruzamento, do ano em que o mesmo foi realizado e um número seqüencial das seleções (CESNIK et al., 2004).

3.1 Aspectos Botânicos

Planta de ciclo semi-perene, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, sub-classe Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e sub-tribo Saccharinae (LUCCHESI, 2001).

A espécie *S. officinarum* (L.), chamada vulgarmente de “cana nobre”, foi amplamente cultivada, servindo de material para cruzamentos devido à maior riqueza sacarina (FIGUEIREDO et al., 1995; MATSUOKA et al., 1999).

Voll (2005), em seu trabalho enfatiza a taxonomia e os aspectos botânicos da cana-de-açúcar, a qual se caracteriza por apresentar flores pequenas praticamente destituídas de perianto e protegidas por brácteas e bracteolas secas, reunidas em típicas inflorescências. Planta ereta, perene, rizomatosa, formando touceiras, colmo cilíndrico, extremamente glabro, de coloração variável e internamente com feixes vasculares inteiramente primários e amplamente dispersos. Entrenós retos ou em zigue-zague e de comprimento, espessura e formas as mais variadas, podendo ou não estarem revestidos por camada cerosa. Os nós apresentam-se protuberantes ou constrictos. As folhas são simples, alternas, estreito-lanceoladas de ápice longamente acuminado, com brotos serreados por pêlos simples rijos e alvo-translúcidos; na face superior de coloração verde e com nervura central bastante desenvolvida, longitudinalmente canaliculada, sendo as nervuras laterais paralelas, bem aproximadas e protuberantes; apresentam a bainha invaginante, bem desenvolvida, auriculada, com a lígula entre a lâmina e a bainha (ROSSETO, 1987).

A cana-de-açúcar tem sido cultivada em escala comercial no Brasil desde a proximidade da linha do Equador, no estado do Amazonas, até regiões subtropicais, como no estado do Rio Grande do Sul, resultando numa extrema diversidade de unidades edafoclimáticas (FNP, 2002).

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, nas 27 unidades da federação. No período de 1971 a 1997, a produção de cana-de-açúcar cresceu a uma taxa média de 5,5% ao ano, sendo que a área cresceu 3,9% ao ano e a produtividade 1,6% ao ano de forma relativamente uniforme. As taxas de incremento de produtividade, mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis, podem ser atribuídas, em grande parte, à disponibilidade de variedades geneticamente melhoradas adaptadas a estas novas condições. Entre 1976 e 1994, os ganhos totalizaram 1,4 kg de açúcar / t cana, a cada ano. Nesses últimos

dez anos as novas variedades proporcionaram um novo avanço qualitativo (BURNQUIST e LANDELL, 2005).

São cultivadas no país mais de 500 variedades de cana-de-açúcar. Estas variedades foram produzidas principalmente por dois programas de melhoramento genético; o da Copersucar (variedades SP) e o da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-RIDESA (ex Planalsucar, com variedades RB). Um terceiro programa ativo, o do Instituto Agrônomo de Campinas, historicamente de grande importância para o setor, foi reestruturado e tem liberado algumas variedades promissoras. Recentemente teve seu potencial ampliado inclusive em biotecnologia e avança rapidamente concentrando esforços na Região Centro-Sul. Independentemente, em 2004 foi constituída uma empresa privada, a Canavialis, para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar; esta empresa trabalha em conjunto com a Allelyx, que se dedica a variedades transgênicas. Portanto, o Brasil conta com duas empresas privadas e duas públicas para o melhoramento genético de variedades de cana (BURNQUIST e LANDELL, 2005).

3.2 Aspectos econômicos da Cultura

A cultura da cana-de-açúcar (*S. officinarum L.*) tem um grande destaque sócio-econômico no Brasil. A indústria canavieira, com aproximadamente 330 indústrias de açúcar e álcool, ocupa cerca de 5,7 milhões de hectares de área, gerando perto de 4.000.000 de empregos diretos e indiretos. Possui uma capacidade de produção de 420 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo destinadas 55% à produção de álcool e 45% de açúcar (IBGE, 2006).

Conforme dados da União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo - ÚNICA, os indicadores econômicos desta atividade agroindustrial são impressionantes. Na tabela 2, os números apontam para um crescimento com estabilidade.

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica para o agronegócio mundial, sendo que o Brasil é responsável por 60% da produção. Esse destaque se deve a grande dimensão continental e diversidade geográfica. A cana é a terceira maior atividade agrícola do Brasil em termos de área de produção e de valor bruto produzido. Em 2006, o valor bruto de produção de cana foi de aproximadamente R\$ 19 (dezenove bilhões) de reais.

TABELA 3. OS IMPRESSIONANTES NÚMEROS DO SETOR (Safrá 2006/07)

Movimenta:	R\$ 50 bilhões
Representa:	1,5 % do PIB
Gera:	3,6 milhões de empregos diretos e indiretos
Envolve:	72.000 agricultores
Moeu:	425 milhões de toneladas de cana
Produziu:	29,8 milhões de toneladas de Açúcar
Produziu:	17,7 bilhões de litros de Álcool
Exportou:	19 milhões de toneladas de açúcar
Exportou:	3,5 bilhões de litros de Álcool
Recolhe:	R\$ 12 bilhões em impostos e taxas
Investe:	R\$ 5 bilhões/ano
Compõem-se de:	325 Usinas e Destilarias (em operação + projetos)

Fonte: ÚNICA, (2007).

Atualmente a cana-de- açúcar ocupa cerca de 6,5 milhões de hectares em todo país (Tabela 3). Embora conte com uma atividade agrícola bastante intensa, o Brasil ainda dispõe de muita terra agricultável, sem prejudicar as florestas e as áreas de preservação. Dos 27 Estados brasileiros, apenas cinco não produzem cana-de-açúcar. A região Centro-Sul é responsável por cerca de 85% da produção canavieira do Brasil, sendo que a região Nordeste produz os demais 15% (BRASIL, 2007).

TABELA 4. Produção de Cana de açúcar para todos os fins/ safra 2006/07.

Região	Produção (milhões de ton)	Área (Mil ha)	Produtividade (ton/ha)
Norte	1 420	21,9	64,9
Nordeste	64 619	1 133	57,1
Centro-Oeste	45 016	605	74,5
Sudeste	327 843	3 941	83,2
Sul	36 829	489	75,3
TOTAL	475 726	6 189	71,0

Fonte: BRASIL- Ministério de Agricultura Abastecimento e Pesca. MAPA, 2007.

3.3 Descrição simplificada dos processos industriais

Pode-se fazer uma descrição simplificada dos processos de produção de modo a auxiliar no entendimento das relações da agroindústria da cana com o meio ambiente. A cultura da cana-de-açúcar é praticada em mais de 80 países no mundo, com variações nos períodos e técnicas de cultivo dependendo de condições locais (MACEDO, 2005).

Esta cultura é caracterizada com altíssima eficiência de fotossíntese (portanto, com grande produção de biomassa por unidade de área). No Brasil é cultivada principalmente em grandes áreas no Nordeste e Centro-Sul; são usados cinco ou seis cortes antes da reforma do canavial, e o período de safra é de seis ou sete meses (MACEDO, 2005).

A mão-de-obra é bastante utilizada em todo o processo de produção e de forma intensiva, especialmente a colheita; o avanço da mecanização tem reduzido o número de empregos (por unidade de produção) e também a sua sazonalidade. A cultura utiliza fertilizantes e defensivos agrícolas moderadamente e recicla todos os efluentes industriais da produção de etanol e açúcar como insumos para a lavoura. A prática da queima do canavial antes da colheita (retirando as folhas, para facilitar o corte) está sendo gradualmente reduzida, com restrições ambientais e de segurança em algumas áreas, mas ainda é dominante. O transporte da cana para a indústria (de fato, a operação integrada de corte, carregamento e transporte) tem evoluído muito para evitar compactação do solo agrícola e para reduzir custos, com sistemas de grande capacidade, dentro dos limites legais das estradas (MACEDO, 2005).

Para produzir etanol e açúcar os colmos de cana são processados; parte da cana é lavada para retirar impurezas minerais (a cana de colheita manual, apenas). Um sistema de extração (no Brasil, quase exclusivamente moagem: a cana é picada, desfibrada e passa por uma série de moendas) separa o caldo, contendo a sacarose, da fibra (bagaço). Para a produção de açúcar, o caldo é limpo (decantação e filtro prensa, retirando um resíduo, a torta de filtro), concentrado e cristalizado. Uma parte dos açúcares não cristalizados e impurezas (melaço) são separados; no Brasil este mel residual é em geral muito mais rico em açúcar, evitando-se o estágio final da cristalização. Esse mel, em mistura com caldo, é usado como insumo para a fermentação (MACEDO, 2005).

A mistura é levada à concentração adequada e fermentada com leveduras; os sistemas na maioria são do tipo *fed-batch* (processo biotecnológico que se baseia na alimentação com um nutriente limitante do crescimento no substrato para a cultura), com reciclo da levedura, mas há processos contínuos. O vinho resultante é destilado, produzindo álcool (hidratado ou

anidro) e deixando como resíduo a vinhaça, formada pela água da cana e adicionada na moagem, matéria orgânica, e mineral importante, como o potássio, que vieram com a cana (MACEDO, 2005).

Os processos industriais nas usinas e destilarias têm como resíduos a vinhaça, a torta de filtro e as cinzas da caldeira de bagaço. São totalmente reciclados para a lavoura: a vinhaça na forma líquida, como fertirrigação; a torta transportada em caminhões, como adubo. Os processos industriais utilizam água (captada de rios e poços) em várias operações; há uma intensa re-utilização, visando reduzir a captação e o nível do despejo tratado (MACEDO, 2005).

A cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) tem sido cultivada de forma contínua e intensa ao longo dos anos, nos tabuleiros costeiros, na região da zona costeira oriental do Nordeste, onde estão situados. É uma faixa úmida, com precipitação pluviométrica favorável, o que permite o desenvolvimento de um sistema de produção agrícola sem apresentar riscos de secas periódicas (JACOMINE, 1974, apud SANT'ANNA, 2007).

A pontencialidade dos solos nos tabuleiros costeiros tem revelado que esse ecossistema possibilitou a adaptabilidade da cultura em todo Nordeste Brasileiro e em outras regiões, Mas a conservação, a gestão ambiental e os cuidados dos diversos recursos presentes nesses tabuleiros tem exigido que essa exploração pode ser feita com menor impacto (JACOMINE, 1974, apud SANT'ANNA, 2007).

A atividade canavieira como em todos os agroecossistemas, que exploram os solos intensivamente, tem tido um conseqüente aumento na degradação, perda da fertilidade e produtividade do solo, e o reflexo disso está na rentabilidade econômica das culturas, que apontam índices negativos cada vez mais preocupantes, com um custo maior de manter a produção em solos com um maior impacto (COLOZZI-FILHO et al., 1999).

O uso de culturas perenes ou semi-perenes, como é o caso da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.), nos tabuleiros costeiros pode ser uma estratégia de grande importância para a conservação e manutenção do solo, já que o preparo do mesmo é realizado com menor frequência que para as culturas de ciclo anual, reduzindo com isso o revolvimento do solo, minimizando-se os problemas relacionados com a mecanização e a aceleração da perda de matéria orgânica e a estrutura física do solo, embora essa cultura tenha contribuído com um bom aporte de resíduos orgânicos ao solo, como as palhas, restos de culturas e principalmente o resíduo da fabricação do álcool, a vinhaça, que quando decompostos pelos

microorganismos, devolvem ao sistema solo-planta, os nutrientes resultantes da ecofisiologia da produção (SANT'ANNA, 2007).

A cultura da cana no Brasil é reconhecida hoje por apresentar relativamente pequena perda de solo por erosão (na comparação com soja e milho, por exemplo); esta situação continua melhorando com o aumento da colheita sem queima, reduzindo as perdas a valores muito baixos, comparáveis aos do plantio direto em culturas anuais (ROSSETO, 2004).

Os ecossistemas que compõem a terra são constituídos por uma complexa rede de recursos que sustentam a vida do ser humano, cuja utilidade depende da sua capacidade em aproveitá-los (Odum, 1988). Um sistema que se apresenta racional, consiste em buscar a utilização mais eficiente dos recursos naturais disponíveis, definindo as possíveis combinações, e qual a maneira mais conveniente de alcançar os melhores índices de rendimento (ALBUQUERQUE et al., 1980).

3.4 Aspectos Nutricionais da Cana-de-Açúcar

Uma planta sadia apresenta um bom aspecto foliar, com cerca de 12 folhas por colmo e este com um diâmetro médio para uma variedade comercial; possui ainda um porte ereto e um sistema radicular capaz de sustentá-la, evitando, com isso, o acamamento, indesejável sob o ponto de vista agrônomo. A variedade apresentará certamente, todas essas características, se for alimentada adequadamente (CESNIK et al., 2004).

Existem variedades que são mais exigentes do que outras quanto às suas necessidades minerais. Alguns métodos analíticos podem ser aplicados, a fim de detectar as suas necessidades dos macro e micronutrientes. Barnes (1964) citado por Cesnik et al. (2004), estudando a cana, verificou que, em média, 50 t de cana extraem do solo: 37,5 kg de N; 25,0 kg de P_2O_5 e 75,0 kg de K_2O . Malavolta et al. (1964) citam que a absorção máxima de nutrientes em quatro plantas variando de 13 a 15 meses foi de 85,0 g de N; 6,8 g de P_2O_5 ; 81,5 g de K_2O ; 19,2 g de Ca; 13,9 g de Mg; 9,3 g de S e 61,8 g de Si. Esses resultados mostram que, além do nitrogênio, fósforo e potássio, o cálcio também é um elemento necessário à boa nutrição da cultura (CESNIK et al., 2004).

Os microelementos importantes para a cultura, como o próprio nome indica são em doses, por vezes, infinitesimais, porém tão necessários quanto os macronutrientes. Dentre eles, se destacam: o ferro e o manganês. Os demais têm uma importância secundária (CESNIK et al., 2004).

Os nutrientes são absorvidos pelas plantas num processo ativo, que requer energia para acumular os elementos essenciais nos tecidos da planta acima das concentrações encontradas na solução do solo (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Na cultura da cana-de-açúcar a adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais mais estudadas, visto que todos os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDORFER et al., 2002). Segundo Orlando Filho (1983), na cana-de-açúcar, o N assume o papel principal no aumento do comprimento do colmo, fazendo com que a parede celular fique mais delgada, diminuindo a percentagem de fibra na planta.

O nitrogênio em excesso na maturação é a maior causa da baixa qualidade, em termos de conteúdo de sacarose. O excesso de N promove o crescimento vegetativo exagerado e o acúmulo desse açúcar nos vacúolos dos colmos. Experimentos realizados na Índia e Venezuela mostraram que o nitrogênio poderia ser aplicado dentro dos primeiros três meses, de uma cultura com doze, para atingir a máxima produção de sacarose (RODRIGUES, 1995).

Um dos nutrientes que as plantas necessitam em menor aporte é o fósforo, Apesar de seu pequeno requerimento pelos vegetais, é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, face a sua baixa disponibilidade natural e afinidade da fração mineral (argila) por este elemento, o que torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (RAIJ, 1991).

Novais et al. (1999), cita que a taxa de influxo (ganho) do fósforo na planta tem de ser maior do que a de efluxo (perdas), para que seja absorvido pelas plantas. Após absorvido pela cana-de-açúcar o fósforo participa nos processos metabólicos, concentrando-se principalmente nos centros de maior atividade, como regiões de crescimento e assimilação de carbono (colmos em crescimento, folhas novas), desta maneira quanto mais velhos os tecidos, menores teores de fósforo serão encontrados (DILLEWIJN, 1952).

A necessidade de potássio pelas culturas é muito maior do que a de fósforo, equiparando-se a demanda do nitrogênio, quando se considera as quantidades desses três nutrientes para as plantas. O potássio, segundo Aquino et al. (1993), estimula ao perfilhamento, crescimento vegetativo e aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias, constituindo-se elemento importante na fase de frutificação das plantas.

O potássio no solo encontra-se disponível para as plantas na forma trocável e solúvel, sendo absorvido pelas plantas na forma de K^+ . Nas culturas como a cana-de-açúcar esse elemento, atua no processo de assimilação do carbono e translocação de fotossintetizados (CLEMENTS, 1959).

O cálcio faz parte da parede das células vegetais em forma de pectato de Ca, dando estrutura as células e facilitando a absorção de água devido a sua função plasmolítica, de acordo com Alvarez (1975). O cálcio é considerado um nutriente de pouca mobilidade no floema, desta forma os primeiros sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais velhas (SALDANHA et al., 2002).

Alvarez (1975) afirma que nas plantas o magnésio é encontrado em maior quantidade nos pontos de crescimento, principalmente nas moléculas de clorofilas. Cerca de 2,7% do peso molecular da clorofila são representados pelo Mg. Dentre outras funções, o Mg atua como ativador enzimático do metabolismo energético (enzimas respiratórias, ativadoras de aminoácidos e descarboxilase).

Na cultura da cana-de-açúcar, a deficiência de Mg dar-se início com a morte do ápice nas folhas mais velhas e os colmos tornam-se curtos e de diâmetro reduzido, conforme Orlando Filho (1983). Em sua pesquisa, Saldanha et al. (2002), observaram acúmulo de Mg nas folhas senescentes, mostrando, desta forma, que assim como o Ca esse elemento apresenta pouca mobilidade no floema.

Coleti et al. (2002), estudando duas recentes variedades de cana-de-açúcar, RB835486 e SP81-3250, observaram que para a cana planta, a ordem de extração dos nutrientes foi: $K > N > S > P > Mg > Ca$ e na cana-soca e foi: $K > N > P > Mg > S > Ca$. O potencial de crescimento e de desenvolvimento da cana-de-açúcar é limitado pela habilidade da planta em absorver eficientemente nutrientes disponíveis do solo.

Podendo-se enfatizar, desta forma, que as plantas melhoradas geneticamente, tornaram-se mais seletivas a determinados nutrientes durante o seu ciclo de vida ou nos diferentes ambientes as quais foram introduzidas. Contudo trabalhos comparativos entre variedades em diferentes ambientes de cultivo, poderiam nortear essa afirmativa (OLIVEIRA, 2008c).

4. Microbiota do solo

O solo abriga diversos microrganismos, os quais são responsáveis por várias transformações físico-químicas de grande importância para produção agrícola. Tais microrganismos dominam as comunidades que habitam o solo, perfazendo cerca de 80% da biomassa total (excluindo-se as raízes), e determinam amplamente as funções do ecossistema, como decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes e de energia, produção de compostos complexos que contribuem para a agregação do solo, controle biológico de pragas e doenças, entre outros. Essas transformações são afetadas diretamente pelos processos bióticos, destacando-se a importância dos microrganismos e seus processos no funcionamento e equilíbrio de ecossistemas, uma vez que estes microrganismos participam da reciclagem de nutrientes no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A comunidade microbiana de um solo é formada por organismos autotróficos e heterotróficos. Dentre os organismos autotróficos destacam-se os microrganismos fotossintetizantes como as cianobactérias. Já entre os heterotróficos destacam-se os fungos e as bactérias, que podem atuar como saprófitas, decompondo a matéria orgânica do solo, ou como agentes patogênicos de plantas. Além disso, é importante considerar que determinadas espécies de fungos e bactérias são organismos simbioses com algumas espécies de plantas, melhorando, por exemplo, a absorção de água, como os fungos micorrízicos e na fixação biológica do nitrogênio, pelas bactérias diazotróficas (CARDOSO et al., 1992; ARAÚJO e MONTEIRO, 2006).

Na relação solo-planta, a aquisição de nutrientes pode ser diretamente afetada por uma microbiota ou rizosfera não infectada por microrganismos. Dependendo da composição ou da densidade dessas populações, a exsudação das raízes pode ser aumentada várias vezes, assim como a concentração de ácidos orgânicos e quelatos devido ao metabolismo microbiano (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Xavier et al. (2005), citam que o desenvolvimento de uma agricultura sustentável exige a seleção de indicadores capazes de atestar o estado geral da qualidade do agroecossistema e que possibilite uma avaliação das práticas de manejo aplicado ao solo. A biota do solo, componente fundamental na ciclagem de nutrientes, influencia vários níveis da cadeia trófica por meio da sua atuação nos processos bioquímicos do solo, como a

decomposição da matéria orgânica, estabelecendo um processo de interdependência com a cobertura vegetal (NUSSLEIN; TIEDJE, 1999).

Esses processos envolvem a participação de componentes da fauna e microrganismos do solo, notadamente fungos e bactérias. Além dos decompositores, também estão presentes no solo microrganismos de reconhecida importância para o crescimento vegetal, tais como fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio, que afetam a absorção e a disponibilidade de nutrientes e a estabilidade da matéria orgânica no solo. Uma maior estabilidade do sistema tem sido associada a uma alta diversidade da microbiota do solo, o que resulta em redundância de grupos funcionais e é característica capaz de garantir resiliência do agroecossistema a estresses ambientais e/ou antrópicos (XAVIER et al., 2005).

4.1 Fungos

Os fungos são organismos quimiorganotróficos cuja principal função no solo é a decomposição de resíduos orgânicos; além disso, são patógenos importantes de animais e plantas, podendo agir como agentes de controle biológico e formar simbioses mutualísticas com plantas (micorrizas) e algas verdes ou cianobactérias (liquens). São também fundamentais nas indústrias química, farmacêutica e de alimentos. Apesar de aclorofilados, já foram comparados às plantas porque, de modo geral, tem parede celular, não são móveis (embora algumas espécies tenham células reprodutivas móveis) e se reproduzam por meio de esporos. Além das diferenças anatômicas óbvias, uma importante diferença é quanto aos produtos de armazenamento: amido nas plantas e glicogênio nos fungos. Conforme a taxonomia, os fungos podem ser classificados na Divisão Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota e Deuteromycota (Moreira e Siqueira, 2006; Legaz et al., 1995). Os gêneros *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Pythium*, *Verticillium* e *Alternaria* são fungos tidos considerados os mais comuns encontrados no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

São seres eucariontes apresentam características próprias como a organização do seu material genético dentro do núcleo, presença de organelas citoplasmáticas e divisão do corpo por mitose. Ao contrário dos procariotos, estes não apresentam a capacidade de usar compostos inorgânicos e de fixar nitrogênio atmosférico (TORTORA et al., 2004; apud SANTOS, 2006).

Estes grupos de microorganismos não representam um grupo predominante no solo, e sua ocorrência está condicionada a fatores como pH, umidade e a quantidade disponível de matéria orgânica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOT, J.; GUIJT, I. **Novas visões sobre mudança ambiental: abordagens participativas de monitoramento**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1999. 96 p.

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas (Normas para resíduos sólidos)**. 1987. 77p.

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6023: informação e documentação – referências – elaboração**. Rio de Janeiro; 2000.

ALBUQUERQUE, G. A. C. de; ARAÚJO FILHO, J. T.; MARINHO, M. L. Adubação verde e sua importância econômica. Rio Largo: **IAA/PLANALSUCAR-COONE**, 1980. 10p.
ALMEIDA, J. R. RAZANI, G. VALSECHI, O. La Vinasse dans l'agriculture. **Boletim do Instituto Zimotécnico**. Piracicaba, p. 1-2. 1950.

ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, v. 46, n. 2, p. 72-77, 1955.

ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Características físicas e químicas e biomassa microbiana de um planossolo reflorestado com leguminosas arbóreas. In: **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13ª REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11.**, 1996, Águas de Lindóia. Resumos... Campinas: SBCS, 1996. 1 CD-ROM.

ALTIERI, M. A. **Agroecology**. The scientific basis of alternative agriculture. Boulder: Westview Press, 1987.

ALVAREZ, F. C. **El registro agronômico de Clementes y su aplicacion em Venezuela**. Caracas: Ministério da Agricultura y Cria, 1975. 125p.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v.63. p. 1043-1046, 2006.

AQUINO, A. B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

BARNES, A. C. **The sugar cane**. New York: Interscience, 1964. 456 p.

BEADOUX et. al. **De la intensificación a la evaluación. Guía Metodológica de apoyo a proyectos y acciones para el desarrollo**. La Paz. Bolívia: Huellas, 1993. 197 p.

BEZERRA, M. C. L. e VEIGA, J. E. (Coordenadores). **Agricultura sustentável**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Consórcio Museu Emílio Goeldi, 2000.190 p

BOUMA, J. Land quality indicator of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.88, p.129-136, 2002.

BRASIL - MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção de Energia. **Açúcar e Álcool no Brasil**, 2007.

BRÜSEKE, F.J. O problema do desenvolvimento sustentável. ... CERQUEIRA, A.S. et al. **Desenvolvimento sustentável: uma apropriação crítica do conhecimento**. In: CAVALCANTI, C. (Org.). **Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1995, p.77-103.

BURNQUIST, W. L. ; LANDELL , M. G. A. O melhoramento genético convencional e a disponibilidade de variedades. In: MACEDO, Isaias de Carvalho. (org.). **A Energia da Cana-de-Açúcar. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade** . São Paulo : Berlendis & Vertecchia : UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005. 231p.

CAMARGO, A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A. CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo de ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre-RS, Gênese, 1999. 49p.
CAMBUIIM, F.A. **A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso**. Dissertação de Mestrado .Recife: UFRPE, 1983, 133p.

CAMPANHOLA, C.; LUIZ, A. J. B.; LUCCHIARI, A. Jr. O problema ambiental no Brasil: agricultura. In: ROMEIRO, A. R. *et al.* (org.). **Economia do meio ambiente: teoria, política e a gestão de espaços regionais**. Campinas: EMBRAPA/UNICAMP, 3º Edição 1997. p.269-272, 2001.

CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S. M., NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas-SP. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2005, 67p.

CASALINHO, H. D., MARTINS, S. R., SILVA, J. B., LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de Agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, abr-jun, 2007.

CESNIK, R., MIOCQUE, J. **Melhoramento da Cana-de-açúcar**. Brasília, Embrapa, 2004. 307p.

CLEMENTS, H. F. **Sugarcane nutrition and culture**. Lucknow, Indian Institute of Sugar Reseach, 1959. 189p.

CODISE – **Companhia de Desenvolvimento Industrial e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe**. Territórios Sergipanos, 2007. Disponível em:<<http://www.codise.se.gov.br>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

COELHO, M. B. Considerações econômicas sobre aplicação de vinhaça por aspersão em cana-de-açúcar. In: **CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL**, 2, Rio de Janeiro, 1981.

COLETI, J.T. et al. Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83 486 e SP81 3250. **CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. 8. Anais...** Recife: [s.n.], 2002. p.316-321.

COLOZZI-FILHO, A. BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. Microrganismos e processos biológicos no sistema de plantio direto. p.487-508. SIQUEIRA, J.O.; et.al., **Inter-relação, fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. SBCS-UFL, Lavras-MG, 1999.

COMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed.,Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas,1991

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (**Previsão da safra 2007/2008**). Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>, acesso em 23 de novembro de 2008.

CONWAY, G. R. The properties of Agroecosystems. **Agricultural Systems**. Great Britain, n.24, p.95-117, 1987.

COPERSUCAR - COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos sólidos da agroindústria sucro-alcooleira**. Piracicaba, 1993. 60 p. (Relatório Técnico RT-561-92/93).

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. et.al., Propriedades Físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, maio/junho. v. 27. n°. 3. p. 527-535, 2003.

CUENCA, M. A. G. MANDARINO, D. C. **Mudança da Atividade Canavieira nos Principais Municípios Produtores do Estado de Sergipe de 1990 a 2005**. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Vinhaça: Efeitos no solo e na planta**. UNESP/Jaboticabal, 2007. v. 1 p.1-7.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração. **Embrapa Agrobiologia**, Seropédica-RJ, série documentos 37, 10p. 1997.

DILLEWIJN, C. V. **Botany of sugarcane**. Waltham, Chronica Botanica, 1952. 371 p.

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

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Rio de Janeiro, 20-26, Julho, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DURAN, A. **Los suelos del Uruguay**. Editorial Hemisfério Sur, Montevideo. 398p. 1985.

ELIA NETO, A & NAKAHODO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça projeto nº 9500278**. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, 1995. 26p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

EPSTEIN, E. ; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**. Londrina: [s.n.], 2006. 402p.

FNP. 2002. Anualpec 2002 - Anuário da produção brasileira. **FNP Consultoria & Comércio**, São Paulo. 400p.

FERREIRA, E.S.; MONTEIRO, A.O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n. 36, p. 3-7, 1987.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 35 p.

FIGUEIREDO, P. D.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Cana-de-açúcar. Campinas: **Instituto Agronomico**, 1995. (Boletim Técnico, 200). CD-ROM 6.

FREIRE, W. J. & CORTEZ, L.B. **Vinhaça de cana de açúcar**. Guaíba-RS. Livraria e Editora Agropecuária, 2000, 203p.

GALDOS, M.V. **Dinâmica do carbono do solo no agroecossistema cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2007, 101p.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p.877-887, 2005.

GODOI, L. C. L. de. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos...** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2001. 87 p.

GLÓRIA, N.A.; MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: **Seminário Copersucar da agroindústria açucareira, 4.**, Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo, Copersucar, 1977. p. 163-180.

GLORIA N. A. Utilização agrícola da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro. v. 86, n.5, p. 11-17, 1975.

GLÓRIA, N. A.; Orlando Filho, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Copersucar, 1983. 38p.

HAYNES, R.J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in Agronomy**, v.85, p.221-268, 2005.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. de S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; SANTOS, J. C. F. dos. Ecologia microbiana em solos sob cultivo na região sul do Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3; REUNIÃO DE**

LABORATORIOS PARA RECOMENDAÇÃO DE ESTIRPES DE RHIZOBIUM E BRADYRHIZOBIUM, 6., 1994, Londrina. **Microbiologia do solo: desafios para o século XXI: anais.** Londrina: IAPAR: EMBRAPA-CNPSO, 1995. p. 234–270.

HISTÓRIA DE SERGIPE. Disponível em: <<http://www.guiadeitabaiana.com.br/sergipe>>. Acesso em 02 de outubro de 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL.** Rio de Janeiro: IBGE. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em outubro de 2008.

IBGE: **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2006.

JACOMINE, P.K.T. **Fragipans em solos de “tabuleiros”: Caracterização, gênese e implicações no uso agrícola.** Tese Livre Docente em Agronomia da UFPE. Recife-PE, UFPE, 1974. 83p.

JENKINSON, D.S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. **Soil Biology Biochemistry.** v. 5. 415-471, 1981.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KORNDORFER, G. H: et al. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: **CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. 8.** Recife: [s.n.], 2002. p. 234-238.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição.** Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 31 p.
LARRAHONDO, J. E.; MORALES, A. A.; VICTORIA, M. H.; JARAMILLO, A.
IN: Carta-Trimestral - CENICANA, v. 22, n. 3, p. 5-6, 2000.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 7:257-261,1983.

LEGAZ, M. E. et al. **A Esperança Biotecnológica.** João Pessoa: A União. 171 p. 1995.

LEME, E.J.A., SILVA, V.C., HENRIQUE, J.L.P, MICKLOS, J.E. **O uso do auto-propelido na aplicação de vinhaça por aspersão: viabilidade técnico-encômica.** Piracicaba, IAA Planalsucar, 1987. 65p.

LEME, E. J. A. Uso e tratamento de resíduos agroindustriais no solo. In: CÂMARA, G. M. S, OLIVEIRA, E. A M. de (Ed). **Produção de cana-de- açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.147-173.

LYRA, M.C.C.P.; RIBEIRO, M.R. & RODRIGUES, J.J.V. Caracterização de Vertissolos em projetos de irrigação na região do baixo-médio São Francisco: II. Propriedades morfológicas, físicas e químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:441-448, 1995.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-acucar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendazeiro e oliveira. Piracicaba: **Cosmopolis Stoller do Brasil**, 2001. v. 1, p. 13-45.

MACEDO, I. C. (org.). A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade . São Paulo : **Berlendis & Vertecchia : UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo**, 2005.

McCARTY, G.W.; LYSSSENKO, N.N.; STARR, J.L. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1564-1571, 1998.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. Fisiologia. In: SEGALLA, A. L.; PIMENTEL-GOMES, F.; MALAVOLTA, E. **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto da Potassa, 1964. p. 221-236.

MARTEN, G.G. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment, **Agricultural Systems**. Great Britain, n.26, p.291-316, 1988.

MARZALL, K. e ALMEIDA, J. Indicadores de Sustentabilidade para Agroecossistemas - Estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciência**. Brasília, v.17, n.1, p.41- 59, jan./abr. 2000.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-acúcar. In: BOREM, A. (Eds.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 205-251.

MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de. (Ed.). **Microbiologia ambiental**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1997. 438 p. (EMBRAPA-CNPMA. Documentos, 11).

MENDES, G. M. MELLONI, P. M., MELLONI, R. Aplicação dos atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas. **Engenharia Ambiental-Universidade Federal de Itajubá-MG**, Cerne, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006.

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B. & ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:201-207, 2000.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: Uma síntese histórica. **Revista da Agronomia**. Porto Alegre-RS, v. 12, n° 2. p. 11-22, 1999.

MILANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. 206p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos – Ufscar, São Carlos, SP.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: 2. ed. Editora UFLA. 729p, 2006.

NOVAIS, R.F; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG.: UFV, 1999. 399 p.

NUSSLEIN, K.; TIEDJE, J. M. Soil bacterial community shift correlated with change from forest to pasture vegetation in a tropical soil. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.65, n.8, p.3622-3626, 1999.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Interamericana, 1988. 434p.

OLIVEIRA, M. E. C. de. **A Criação de Indicadores para Avaliação de Sustentabilidade em Agroecossistemas Apícolas de Sergipe**. Aracaju: Fapese, v. 3, p. 79-86, 2006

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

OLIVEIRA, F. R. de A.; VALARINI, P. J.; POPPI, R. J. Indicadores de qualidade do solo em área de mata e cultivado com cana orgânica e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**. out. 2007 p. 1299-1301. Vol.2 N. 2

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Departamento de Agronomia de Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008, 73p.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr., E.; AGUJARU, R. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana de açúcar: **Estudo exploratório. Stab**, Piracicaba, v.1, p.28–33, 1983.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, [s.n.], 1983. 369p.

PRADO, Hélio. **Existe Solo Ideal?** In: PRÓ-CANA, 2005. Disponível em:< <http://www.jornaldacana.com.br/conteudo/noticia.html>>. Acesso em 03 de maio de 2008.

PUENTES, R.; HARRIS, B.L.; VICTORIA, C. Management of Vertisols in temperate regions. In: WILDING L.P.; PUENTES, R. (Eds.). Vertisols: their distribution, properties, classification and management. **Texas: Texas A&M University**, 1988, p. 129-145.

QUIROGA, R. Información y Participación em el Desarrollo de la Sustentabilidade em America Latina. **La transición hacia el desarrollo sustentável**, p.115 – 139, Mexico: 2002.

RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E.; ORLANDO FILHO, J.O. Calibração de análises de fósforo e potássio no solo em cana-de-açúcar, 2ª. aproximação. **Saccharum**, São Paulo, n.28,p.39-42, 1983.

RODELLA, A. A. Composição de vinhaça. In: **SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL STAB-SUL**, 3, Águas de São Pedro, 1980. Anais p. 243-56.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFÒS, 1991. 343 p.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências. 1995. 69p.

ROSSETO, A. M. ORTH, D. M, ROSSETO, C. R, FLORES, G. L. Proposta de um Sistema de Indicadores para Gestão de Cidades visando ao Desenvolvimento sustentável. In: **COBRA: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. UFSC, Florianópolis, 2004.

ROSSETTO, R.: “A cultura da cana, da degradação à conservação”, **Visão Agrícola**, ESALQ-USP, Ano 1, Piracicaba-SP, jan, 2004.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas:Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 96 p.

SALDANHA, E. C M; FREIRE, F.J. & FREIRE, M. B. G. Acumulação de cálcio, magnésio e potássio na cana soca. In **JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE**. 2. Anais, Recife, 2002, 1 CD-ROM.

SANT'ANNA, S. A. C. **Avaliação de indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas, apresentada ao NEREN – Núcleo de Estudos de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFS-Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão-SE, 2007. 57p.

SANTOS, L. C. **Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo e associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Agrárias, Santa Maria: 2006, 88p.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília, **Embrapa-SPI. & Embrapa-CNPAF**. (Documentos, 45). 1994. 142p.

SILVA, G.M. de A.; POZZI DE CASTRO, L.J.; MAGRO, J.A. Comportamento agroindustrial da cana-de-açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. **IV Seminário Copersucar da indústria Açucareira**. Anais.. p.107-122. Águas de Lindóia. 1976.

SILVA, G. M. de A.; ORLANDO FILHO, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. In: **Incorporação de vinhaça ao solo: Efeitos sobre a resistência do material obtido**. **Boletim Técnico do Planalsucar, Piracicaba**, 3 (8) : 5-22, 1981.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.291-299, 1998.

SILVA, M. A. S. DA, GRIEBELER, N. P., BORGES. L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, Campina grande-PB, 2007

SOBRAL, L. F.; VIÉGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251 p.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, Santa Maria-RS, 2004, 201p.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, nº 10, p. 73-80, 1994.

TAVARES, C. **Iniciação à Visão Holística**. Rio de Janeiro, Editora Record, 2a. edição, 1994.

TAVARES FILHO, J. RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:393-399, 1999.

TERMO DE REFERÊNCIA PARA O WORKSHOP TECNOLÓGICO VINHAÇA.

Universidade Estadual Paulista de Jaboticabal. Setembro de 2007.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiology: an introduction**. E. Pearson, 8ª edição, 2004, 83p

UNICA. **Informativo da UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar**. ANO 9, Nº 76, Maio/Junho 2007, p.2-3.

VASCONCELLOS, J.N.; OLIVEIRA, C.G. Composição química dos diferentes tipos de vinhaça das destilarias de álcool de Alagoas. **Saccharum STAB**, São Paulo, v.4, n.14, p.32-36, 1983.

VENSKE FILHO, S. P.; **Biomassa microbiana do solo sob sistemas de plantio direto na região de Campos Gerais, Tibagi, PR**. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003, 86p.

VOLL, C. E. **Aplicação da vinhaça e do extrato de palhiço de cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas**. Dissertação de Mestrado apresentado à ESALQ/USP, 2005, 45p.

XAVIER, G. R.; ZILLI, J. E.; SILVA, F. V.; SALLES, J. F.; RUMJANEK, N. G. O papel da Ecologia Microbiana e da Qualidade do Solo na Sustentabilidade dos Agroecossistemas. In: **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta. Uma ferramenta para uma agricultura sustentável**. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 29-46, 2005.

WISCHMEIER, W. H. A Rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madson, v.23, n.30, p.246-249, 1959.

CAPÍTULO II

5. DIVERSIDADE DE FUNGOS EM UM VERTISSOLO COM ADIÇÃO DE VINHAÇA NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.).

RESUMO

O artigo trata do estudo da aplicação da vinhaça em solos cultivados com cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.). O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da aplicação de vinhaça em solo cultivado com cana-de-açúcar sobre a densidade e diversidade de fungos presentes no solo e compará-lo com a área sem aplicação de vinhaça, em duas áreas distintas em canaviais pertencentes à Usina São José do Pinheiro, no município de Laranjeiras, Estado de Sergipe, Brasil. Área A – Fazenda Poção com Fertirrigação, Área B – Fazenda Faleiro sem Fertirrigação, com um solo classificado pelo sistema brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA, como um Vertissolo. Foram coletadas 60 (sessenta) amostras de solos em três profundidades: 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm, em 10 (dez) repetições, igualmente nas duas áreas amostradas. As amostras coletadas foram etiquetadas e armazenadas à temperatura a 4°C no Laboratório da Clínica Fitossanitária da UFS – Universidade Federal de Sergipe, Campus de São Cristóvão. Foram realizadas as análises microbiológicas, utilizando o método da diluição em série para avaliar a densidade de fungos ($g^{-1} \times 10^2$) com o meio de cultura Czapek-dextrose-ágar (CDA). Para identificar os fungos foram feitas lâminas de sua estrutura e observado em microscópio de luz. Os resultados comprovaram a presença dos gêneros de fungos nas áreas amostradas: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phytophthora*, *Trichoderma*. A análise estatística revelou que não houve diferença significativa nas populações de fungos entre as áreas A e B, nem entre as profundidades e houve diferença significativa na diversidade de fungos na área A. A aplicação da vinhaça não alterou as condições biológicas do solo.

Palavras-Chave: *Saccharum*; Microorganismos; Matéria Orgânica; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This article is about the study of the application of the cultivated soils with sugar-cane (*S. officinarum* L.). It also presents the aim of the study of the effect of the application of vinasse in soil cultivated with sugar-cane on the density and diversity of fungi present in the soil and to compare it with the area without application of vinasse, in two distinct areas in sugar cane fields which belong to the São José do Pinheiro plant, in Laranjeiras town, in the state of Sergipe, Brazil. Area **A** – Poção Farm with Fertirigation, Area **B** – Faleiro Farm without Fertirigation, with a soil classified by the Brazilian system of classification of the soil of the EMBRAPA, as a Vertisol. There was the collection of 60 (sixty) samples of soil in three depths: 0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm, in 10 (ten) repetitions, equally in the two studied areas. The samples collected were labeled and stored to the temperature to 4°C in the Laboratory of the Fitosanitary Clinical of the UFS – Federal University of Sergipe, Campus of São Cristóvão. Microbiological analyses were carried out, in which it was used, an approach of the dilution in series in order to evaluate the density of fungi ($\text{g}^{-1} \times 10^2$) through Czapek-dextrose-ágar (CD). To identify the fungi it was carried out by the approach of coloring of small fragments of micelio and growing fungi in blue of Amam and observed in magnifier light, by Coleman in the increase of 40x. The results showed the presence of the kinds of fungi in the studied areas: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phytophthora*, *Trichoderma*. The statistical analysis revealed that there was not a significant difference in the populations of fungi between the areas **A** and **B**, nor between the depths and that there was a significant difference in the diversity of fungi in the area **A**. The study concluded that the application of the vinasse did not alter the biological conditions of soil.

Keywords: *Saccharum*; Microorganisms; Organic Matter; Sustainability.

5.1 INTRODUÇÃO

A alternativa de utilizar a vinhaça em lavouras de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.), tem se tornado uma prática corrente em todas as regiões do País, sendo esta a melhor forma para não contaminar rios e cursos d'água.

A prática de adubação com a vinhaça é utilizada por todas as usinas e destilarias, com tecnologia bem definida, e com resultados positivos de pesquisas já realizadas (PENNATI et al., 1988).

A vinhaça é caracterizada como fator de fertilização ou de correção dos solos, é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais, contribuindo para elevação do pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo, além de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. O emprego da vinhaça aumenta a população microbiana dos solos, proporcionando uma maior facilidade na nitrificação e conferindo-lhe maior índice de fertilidade (ALMEIDA, 1955).

Quando a vinhaça é aplicada de forma racional ao solo pode promover melhoria em sua fertilidade, pois possui elementos minerais e orgânicos. Todavia, pode ocorrer a lixiviação de vários íons, sobretudo do nitrato e do potássio para o lençol freático contaminando-o (SILVA et al., 2007).

A vinhaça utilizada na fertirrigação de culturas pode proporcionar um ganho na composição química, física e biológica do solo. Este subproduto pode proporcionar os efeitos que vão indicar a fertilidade do solo, tais como: aumento no pH, elevação da disponibilidade de íons, aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) e melhora na estrutura física, podendo também ser o agente causador do aumento da população de microorganismos no solo (GLÓRIA e ORLANDO FILHO, 1983).

Rosseto (1987) destaca as características químicas da vinhaça e enfatiza o seu uso como fertilizante na própria cultura canavieira reafirmando o que outros pesquisadores destacam a sua riqueza, em termos de quantidade apreciável de potássio e valores médios de magnésio e cálcio. Esse mesmo autor cita que a vinhaça é um dos subprodutos com a maior carga orgânica poluidora, pois apresenta uma DBO (demanda bioquímica de oxigênio) entre 20.000 a 35.000 mg/L de vinhaça.

O solo representa para os agroecossistemas, o fator abiótico, mais importante para o sistema produtivo, pois é dele que resultam as matérias-primas para a indústria de produtos alimentícios, por isso, o manejo do mesmo deve levar em conta as alterações que podem

comprometer a sua qualidade. Segundo Bruggen e Semenov (2000) e Sposito e Zabel (2003), o conhecimento sobre a qualidade de solo, resulta de um equilíbrio entre os atributos geológicos, hidrológicos, químicos e biológicos.

O solo é um recurso natural, vital para a funcionalidade do ecossistema e esse atributo refere-se à sua capacidade de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e também do ser humano (SPOSITO e ZABEL, 2003; apud ZILLI et al., 2003; DORAN et al., 1996).

O solo, por conter uma diversidade de microorganismos, é um sistema natural vivo e dinâmico, regula a produção de alimentos e fibras e o balanço global do ecossistema, além de servir como meio para o crescimento vegetal, através do suporte físico, disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio para as raízes das plantas, Os principais componentes do solo incluem minerais inorgânicos e partículas de areia, silte e argila, formas estáveis da matéria orgânica derivadas da decomposição pela biota do solo, a própria biota, composta de minhocas, insetos, bactérias, fungos, algas e nematóides e gases como O₂, CO₂, N₂, NO_x (DORAN et al., 1996; ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Esta vitalidade é expressa e regulada pela biota do solo, sendo considerados os processos que ocorrem entre os seus componentes integrados. A atividade da biota resulta na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na degradação de poluentes químicos e a sua determinação na estrutura do solo; isto faz com que a microbiologia presente no solo, seja um indicador na qualidade do mesmo (JENKINSON e LADD, 1981; KENNEDY, 1998; LYNCH, 1986; apud CARVALHO, 2005).

O conceito de qualidade de solo surgiu no final da década de 1970, e daí para frente, a fertilidade do solo ficou associada a esta, por pelo menos uns dez anos (Karlen et al., 1997). Antes, aceitava-se que a qualidade do solo, estava ligada à riqueza química desse, porém atualmente, não basta o solo apresentar uma boa fertilidade, mas também conter uma massa estrutural microbiológica e diversificada (ZILLI et al., 2003).

A perda da qualidade do solo pode ser avaliada em um agroecossistema pela presença de indicadores biológicos, físicos e químicos, nele decorrentes da atividade agrícola, que podem interferir na produtividade vegetal. Essas alterações podem levar anos de degradação de forma significativa, seja nos atributos físicos, químicos ou biológicos (CARTER, 1986).

Os domínios funcionais e componentes do solo são inter-relacionados e ecologicamente dependentes, tais como: o volume de solo, influenciado pelas raízes das

plantas; a termitosfera, composta pelos cupins; drilosfera; as minhocas, as rachaduras; ambiente influenciado pelas condições edafoclimáticas. E esses domínios são formados pelas ações de reguladores, como as plantas e a fauna do solo e neles existem inúmeras atividades que envolvem os micro e os macroorganismos, responsáveis pelos processos biológicos que podem estar ligados a cada domínio e pela estrutura do solo, tanto os macro como os microporos (LAVELLE, 2000).

O solo armazena organismos vivos e proporciona altas taxas metabólicas que ocorrem em seu interior, por existirem raízes e decomposição da matéria orgânica. É nesta região, a da rizosfera, onde existe maior atividade microbiana, em razão da presença de exsudatos e secreções radiculares, que representam a maior parte do carbono disponível para os microorganismos (Grayston e Jones, 1996). Sem a influência das raízes e da atividade da biota que funcionam de forma simbiótica, o solo pode ser considerado oligotrófico ou relativamente pobre em fontes de carbono disponíveis (ROSADO, 2000).

A diminuição da atividade microbiana, representada por fungos e bactérias, pode apresentar um indicador de perda da qualidade do solo, por outro lado, o oposto a esta afirmação, representa um ganho na qualidade e fertilidade do solo, sendo assim, um fator de resiliência para o sistema de produção. A diversidade de algumas espécies de microorganismos é importante, isso porque a quantidade reflete de forma mais imediata a flutuação microbiana de curto prazo e a diversidade revela o equilíbrio entre os diversos organismos e os domínios funcionais no solo (KENNEDY, 1999; LAVELLE, 2000).

Alguns pesquisadores como Harris et al. (1966), descrevem que bactérias e fungos são importantes para unir os agregados do solo, a fração mineral, muito embora que cada microorganismo tenha capacidade específica em cada partícula. Guggenberger et al. (1999), verificaram que o crescimento da comunidade fúngica, proporcionada pela adição de energia, aproximou partículas primárias por enlace de hifas que formaram os agregados. Molohe et al. (1987), observaram que quando a comunidade de bactérias cresce, decresce a de fungos.

Os microorganismos se enquadram perfeitamente como bioindicador na qualidade do solo, pois a atividade biológica que exercem é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Neste perfil, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5 % do volume total do solo e representa menos que 10 % da matéria orgânica. Este componente biológico consiste principalmente de microorganismos que realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo. Os microorganismos

decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY e DORAN, 2002).

Alguns autores abordam a importância dos bioindicadores nos processos biológicos dentro do solo, pois indicam como está o estado deste ecossistema, eles podem ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo. No processo de biomonitoramento tem-se a medida das atividades de organismos vivos e as mudanças no status do seu ambiente (WITTIG, 1993; DORAN e PARKIN, 1994),

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da aplicação de vinhaça em solo cultivado com cana-de-açúcar sobre a densidade e diversidade de fungos no solo e compará-lo com a área sem aplicação de vinhaça.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido utilizando-se amostras deformadas de solo coletadas em áreas de propriedade da Usina São José do Pinheiro, localizada no município de Laranjeiras-SE (S 10° 48' 29" e WO 37° 09' 37") que utiliza a vinhaça na fertirrigação das áreas agrícolas por mais de dez anos em solos com argila de alta atividade, como é o caso dos Vertissolos da região do Vale do Cotinguiba no Estado de Sergipe. A região possui clima, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo **As**. tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro. O relevo da área é plano a suave ondulado, com predominância de platôs característicos dos Tabuleiros Costeiros. O solo das áreas amostradas é um Vertissolo (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo constituído por duas áreas: Área A (cultivada com cana-de-açúcar e fertirrigada com vinhaça há mais de 10 anos) e a Área B (cultivada com cana-de-açúcar sem fertirrigação com vinhaça) e três profundidades de amostragem do solo (tratamentos): 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm, em dez repetições. Para a retirada das amostras deformadas do solo nas três profundidades, foi marcada uma área experimental dentro dos talhões de cana-de-açúcar com as dimensões 50 x 20 m (1000 m²); utilizou-se um trado tipo holandês, para a obtenção das amostras de solo.

As amostras de solo foram homogeneizadas e acondicionadas, até o início das análises microbiológicas, em sacos plásticos, lacrados, etiquetadas e armazenadas à temperatura a 4°C

no Laboratório de Remediação de Solos e na Clínica Fitossanitária da UFS/DEA - Universidade Federal de Sergipe/Departamento de Engenharia agrônômica. Para a determinação da densidade de fungos, utilizou-se o método de unidades formadoras de colônias (UFC), segundo Moreira e Siqueira (2006).

As diluições em série foram realizadas a partir da adição de 10 g de solo em 90 mL de água destilada autoclavada por 30 minutos a 120°C e 1 atm. A partir desta suspensão foi retirada uma alíquota de 1 mL e transferida para um tubo de ensaio contendo 9 mL de água destilada autoclavada (diluição 10^{-1}). Foram realizadas diluições em série até 10^{-6} e dez repetições por área amostrada com e sem fertirrigação respectivamente, e por profundidade (0-15, 15-30, 30-45 cm), Figura 3. Em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 mL da diluição 10^{-2} para avaliação da densidade de fungos em condições assépticas, onde foram transferidas para as placas de Petri (Figura 4) contendo meio de cultura e devidamente identificadas para posterior acompanhamento do crescimento das colônias.

O meio de cultura utilizado para avaliação da densidade dos microorganismos foi Czapek-dextrose-ágar (CDA). O preparo do meio CDA foi realizado pela mistura de 33,4 g de Czapek, 10 g de dextrose e 40 g de ágar em 1000 mL de água destilada. Em seguida, foi autoclavado por 30 minutos a 1 atm e 120°C e, após resfriamento, distribuídos em placas de Petri, quando ainda liquefeito. Para avaliação da densidade de fungos adicionou-se ao meio de cultura CDA, autoclavado e liquefeito, 0,03 g de rosa bengala e 0,03 g de sulfato de estreptomicina, diluídos em 5 ml de água destilada autoclavada.

Foram realizadas cinco repetições. Em cada repetição foi inoculada três placas para a contagem de colônias de fungos. As placas foram envoltas em papel filme e incubadas à temperatura ambiente (25 +/- 3°C). A densidade de fungos foi avaliada pela contagem diária do número de colônias até o quinto dia de incubação.

Para a identificação dos fungos foram feitas lâminas de sua estrutura e observado em microscópio de luz, comparando-a com literatura disponível (BARNET, 1960; BOOTH, 1977; ELLIS, 1971; SUTON, 1980).

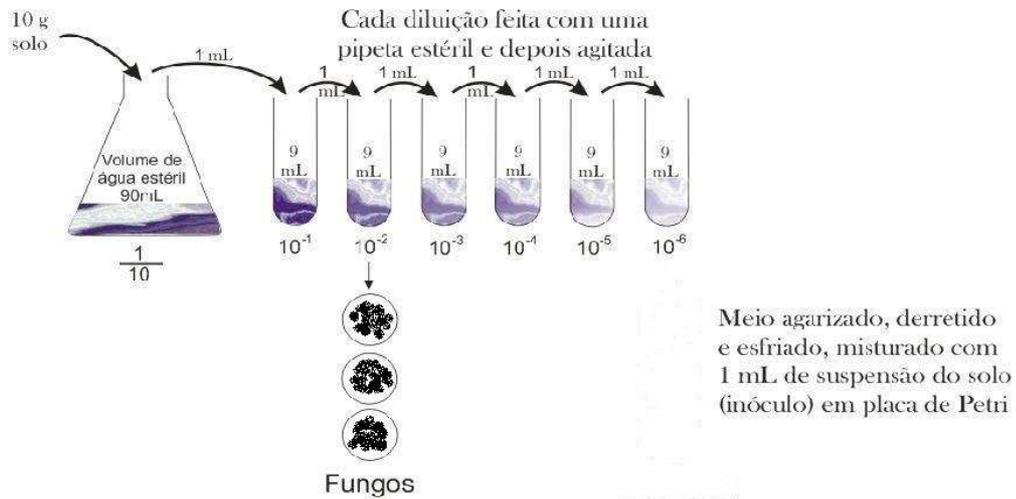


FIGURA 3. Esquema adaptado de Moreira e Siqueira (2006), do método de diluições em série utilizado para avaliação da densidade de fungos e bactérias no solo.

Algumas placas de Petri contendo o meio de cultura com os fungos e os corpos de frutificação foram fotografadas em campo com máquina digital, marca Sony 7.2 megapixels (Figura 4). As análises estatísticas foram realizadas pelo programa Sisvar 5.0 (Sistema de Análise de Variância) (FERREIRA, 2006).



FIGURA 4. Placas de Petri, contendo meio de cultura (CDA + rosa bengala), colonizada por fungos provenientes do solo (com ou sem) vinhaça. Dados obtidos da pesquisa na Clínica Fitossanitária da UFS/DEA.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na presente condição em que foi desenvolvido o estudo para a determinação do efeito da vinhaça sobre a população de microorganismos, verificou-se que houve efeito significativo da vinhaça entre as áreas A e B para fungos (Tabela 5). Um fator que pode influenciar a densidade da biomassa microbiana a longo prazo é o grau de revolvimento do solo durante a reforma do canavial (Galdos, 2007). A destruição de agregados pelo cultivo do solo expõe material orgânico à ação dos microrganismos decompositores, o que também pode ter influenciado no desenvolvimento da microbiota nas áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar. Doran (1980) cita que o sistema de cultivo convencional causa uma maior perturbação no solo acarretando uma maior perda de matéria orgânica e conseqüentemente uma diminuição da biomassa microbiana. O que pode ser compensado na área A, com o aporte de vinhaça aplicada ao solo do canavial.

TABELA 5. Quadrados médios dos parâmetros microbiológicos (Fungos) em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008

FV	GL	UFC – Fungo x 10 ² g ⁻¹ solo
Área	1	1174,1261*
Profundidade	2	237,7725 ^{ns}
Área x Prof.	2	339,9714 ^{ns}
Erro	54	326,11310
CV (%)		84,88

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. FV – Função variável, GL – Grau de Liberdade, UFC – Unidade formadora de colônia. n.s. Não significativo.

Verifica-se na Tabela 5 que não houve efeito significativo da aplicação da vinhaça no solo da ÁREA A quando comparada com o da ÁREA B, mesmo nas três profundidades (Tabela 7), ou seja, o aporte de matéria orgânica na ÁREA A não foi suficiente para aumentar a população de microorganismos, apesar de o subproduto estar sendo aplicado há mais de dez anos. Moreira e Siqueira (2006), afirmam que a matéria orgânica do solo, representa 5% do volume total do solo, 45% é representado pela parte sólida e 50%, o espaço poroso (fase líquida e gasosa).

Venzke Filho (2003) cita que a biomassa microbiana nas camadas mais superficiais podem ser equivalentes às camadas mais profundas, até 20 cm, após 10 anos de cultivo pelo sistema de plantio direto; tal comportamento não foi encontrado nas áreas estudadas, verificando-se mesmas unidades formadoras de colônias (UFC) nas populações de fungos nas três camadas do perfil do solo, de ambas as áreas (Tabela 7). Provavelmente, a natureza líquida da vinhaça tenha permitido a sua percolação pelo perfil do solo até as camadas mais profundas, aumentando o teor de matéria orgânica com conseqüente aumento da população microbiota.

Pode-se inferir que o método direto utilizado nesta pesquisa, usando a microscopia, para determinação da população microbiana, pode não ser o recomendado, já que nos últimos anos está se usando o método indireto como a fumigação-extração, fumigação-incubação e a respiração induzida pelo substrato, conforme afirmam os autores (ANDERSON e DOMSCH, 1978).

TABELA 6. UFC – Unidade formadora colônia de Fungos de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado (Área A) com vinhaça e sem fertirrigação (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008

ÁREAS AMOSTRADAS	UFC– Fungo x 10 ² g ⁻¹ solo
A	27,531 a
B	15,019 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. UFC – Unidade formadora de colônia.

TABELA 7. Valores médios de UFC – Fungos de Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (com e sem fertirrigação com vinhaça) em três profundidades. Laranjeiras-SE, UFS, 2008

Profundidade (cm)	UFC– Fungo x 10 ² g ⁻¹ solo
0 a 15	21,863 a
15 a 30	25,830 a
30 a 45	16,131 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. UFC – Unidade formadora de colônia.

As áreas estudadas, apesar da alta atividade do manejo da cana-de-açúcar e a queima da palhada para a colheita, não afetaram as populações dos microrganismos encontrados nas áreas e entre as profundidades (Tabelas 6 e 7), indicando que não houve a degradação do solo.

De acordo com Kennedy (1999) e Lavelle (2000), a diminuição da atividade microbiana, representada por fungos e bactérias, pode apresentar um indicador de perda da qualidade do solo, por outro lado, o oposto a esta afirmação, representa um ganho na qualidade e fertilidade, sendo assim, um fator de resiliência para o sistema de produção.

Ferreira e Monteiro (1987) realizaram uma revisão bibliográfica sobre os efeitos da vinhaça nas propriedades do solo. Estes autores concluem que a adição da vinhaça “in natura” aos solos é uma boa opção para o aproveitamento deste resíduo, uma vez que ele é rico em um excelente material fertilizante e proporciona benefícios nos atributos físicos, químicos e principalmente, biológicos do solo.

Os dados obtidos indicam um número significativo de unidades formadoras de colônias (UFC), isto é, a presença de microorganismos nas amostras estudadas do solo. (Figura 5). Na Tabela 8, verifica-se a lista de fungos dos gêneros; *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phytophthora* e *Trichoderma* (Moreira e Siqueira, 2006). Especificamente na ÁREA A, onde existe fertirrigação com vinhaça, observou-se um número significativo de fungos (Tabela 8), indicando um solo pouco degradado e com alta fertilidade devido ao aporte de matéria orgânica, oriunda da vinhaça aplicada. Na ÁREA B, sem fertirrigação, verificou-se a presença de fungos em um número relativamente menor, provavelmente devido à menor porcentagem de matéria orgânica (DURAN, 1985).

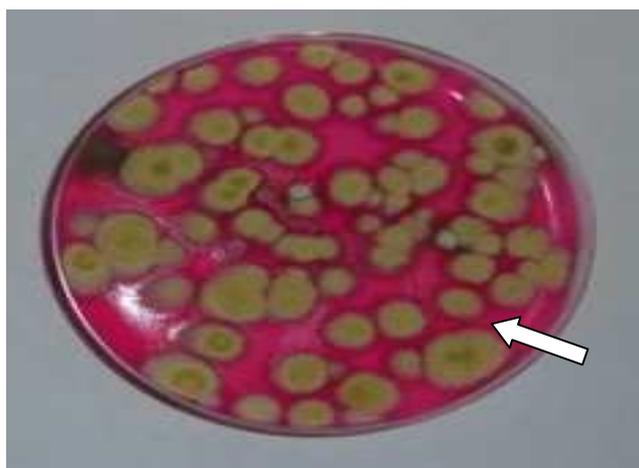


FIGURA 5. Placas de Petri contendo o meio de cultura (CDA + rosa bengala). Dados obtidos da pesquisa na clínica fitossanitária da UFS, com as UFCs (Unidades formadoras de colônias) de Fungos *Aspergillus* spp. (B)

Segundo Cattelan e Vidor (1990), a microbiota do solo atua na decomposição e na mineralização da matéria orgânica, disponibilizando os nutrientes de forma que o aporte desses ao solo é praticamente contínuo e estável. Muito embora que Moloche et al. (1987), verificaram que, quando o número de bactérias aumenta decresce o número de fungos. Harris et al. (1966), citam que bactérias e fungos são capazes de unir a fração mineral do solo em agregados estáveis, mesmo que cada microorganismo tenha uma capacidade específica de agregar partículas.

É importante ressaltar que a adição da vinhaça por mais de dez anos no solo na área A, influenciou na densidade de fungos em relação ao solo cultivado com cana-de-açúcar sem fertirrigação (Área B) Tabela 8, dessa forma pode-se inferir que a vinhaça interfere na população microbiana pela adição de matéria orgânica, amenizando os efeitos da queima da palhada. Galdos (2007) abordando este assunto cita que a colheita de cana-de-açúcar pela queima reduz a biomassa microbiana, quantificada pelo carbono microbiano, em comparação com o solo cultivado com cana sem queima, após 8 anos.

TABELA 8. Diversidade de fungos no solo cultivado com cana-de-açúcar (com aplicação de vinhaça-ÁREA A e sem aplicação-vinhaça-ÁREA B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

	FUNGOS (x 10 ² g ⁻¹ solo)				
	<i>Aspergillus</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Phytophthora</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.
ÁREA A	22,621 a	1,132 a	2,955 a	0,853 a	0,747 a
ÁREA B	10,798 b	0,821 a	1,599 a	0,933 a	0,467 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na tabela 8, observa-se que houve diferença significativa do gênero *Aspergillus* spp entre as duas áreas diferenciando das demais espécies encontradas. Não foram encontrados resultados semelhantes na literatura consultada; pode-se inferir que a vinhaça teve maior influência sobre o gênero *Aspergillus* spp na área com vinhaça. Tauk (1990) afirma em trabalhos realizados com a biodegradação de resíduos do solo verificou-se que os gêneros *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Fusarium* foram frequentes durante a sucessão fúngica no processo de decomposição de folhas de cerrado, reafirmando o papel destes, de

decomposição de material orgânico disponível no solo. Dominy et al. (2002) citam que as áreas onde se realizam queima da palhada começam a sofrer diferença significativa na microbiota após 30 anos de cultivo intensivo, o que pode explicar a ausência de diferença significativa da densidade de outros gêneros de fungos entre as áreas cultivadas com idade do canal da pesquisa de cerca de 20 anos e fertirrigada por mais de dez.

A disponibilidade da microbiota auxilia no desempenho das reações químicas e tem papel importante no solo devido a sua capacidade de decompor material orgânico através da mineralização, disponibilizando nutrientes além de melhorar a estrutura do solo. Contudo, é importante enfatizar que o manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar (aração, gradagem; calagem, adubação, queima da palhada etc.) pode influenciar, positiva ou negativamente, na atividade dos microorganismos (VENZKE FILHO, 2003; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Os gêneros de fungos encontrados nas áreas estudadas na presente pesquisa são considerados importantes agentes decompositores de materiais lignocelulolíticos e encontrados em abundância nos solos. Estes grupos de microorganismos não representam um grupo predominante no solo, e sua ocorrência está condicionada a fatores como pH, umidade e quantidade de matéria orgânica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006); (FERRAZ, 2004).

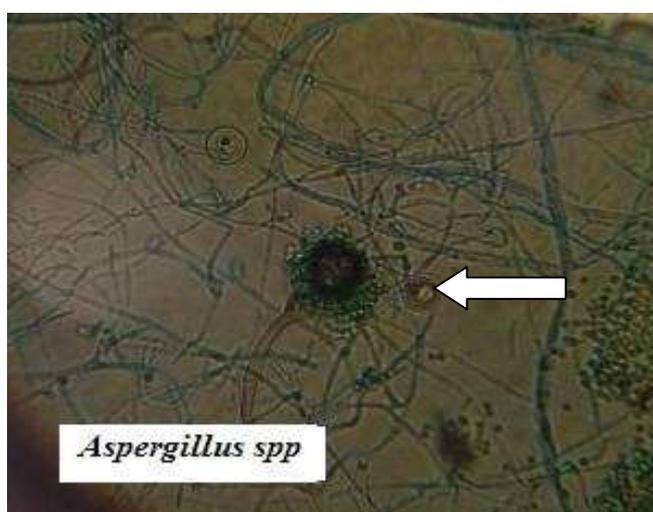


FIGURA 6 . Corpo de Frutificação do Fungo *Aspergillus* spp. (C), visto ao microscópio óptico. Dados obtidos da pesquisa na Clínica Fitossanitária da UFS.

Com o número de unidades formadoras de colônias de fungos e a diversidade desses encontrados nas áreas A (fertirrigada) e B (não fertirrigada), verifica-se que esses microorganismos desempenham funções fundamentais para a fertilidade do solo devido a sua

capacidade de decompor material orgânico através da mineralização, disponibilizando nutrientes além de melhorar a estrutura do solo e participar das cadeias alimentares da fauna do solo. Mas, como afirmam (Moreira e Siqueira, 2006; Venzke Filho, 2003), é importante levar em consideração no estudo do sistema de produção, que o manejo do solo a cada renovação do canavial pode influenciar na atividade fisiológica da microbiota.

5.4 CONCLUSÕES

- Os fungos detectados no solo pertencem aos gêneros: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Phytophthora*, *Trichoderma*;
- Na área fertirrigada existe uma maior população de *Aspergillus* spp;
- Na área estudada, o uso da vinhaça não alterou as populações de microorganismos;
- Com as informações obtidas, não se pode afirmar se existe algum grau de degradação do solo que recebeu vinhaça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, v. 46, n. 2, p. 72-77, 1955.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K. H. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. **Soil Biology & Biochemistry, Oxford**, v. 10, p. 215-221, 1978.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007.

BARNET, H. L. **Illustrated Genera of imperfect Fungi**. 2ª Edição. Minneapolis: Burgess Publishing Company, p. 221, 1960.

BOOTH, C. **Fusarium: Laboratory guide to the identification of the major species**. England: Commonwealth Mycological Institute, 1977, p. 58.

BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In Search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n.1, p.13-24, 2000.

CARTER, M. R. Microbial biomass and index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 29-40, 1986.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucária angusfolia* (Bert.) O. Ktze**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2005, 67p.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.133-142, jun. 1990.

DOMINY, C.S.; HAYNES, R.J.; VAN ANTWERPEN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 36, p. 350-356, 2002.

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

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.

DURAN, A. **Los suelos del Uruguay**. Editorial Hemisfério Sur, Montevideo, 1985. 398p.
ELLIS, M.B. **Dematiaceous Hyphomycetes**. Surrey: Commonwealth Mycological Institute, 1971. 608p.

EMBRAPA, **Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FERRAZ, A.L. Fungos decompositores de materiais lignocelulolíticos. In: ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J.L. (Eds.). **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: Educs, 2004. p. 231-242.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - Sistema de Análise de Variância**. 2006.

FERREIRA, E.S.; MONTEIRO, A.O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n. 36, p. 3-7, 1987.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Copersucar, 1983. 38p.

GALDOS, M.V. **Dinâmica do carbono do solo no agroecossistema cana-de-açúcar**. Piracicaba, p. 101, 2007.

GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1996.

GUGGENBERGER, G.; ELLIOTT, E.T.; FREY, S.D.; SIX, J. & PAUSTIAN, K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. **Soil Biol. Biochem.**, 31:407-419, 1999.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Adv. Agron.**, 18:107-169, 1966.

JENKINSON, D.S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (ed.), **Soil Biology Biochemistry**. v. 5. 415-471, 1981.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KENNEDY, A. C. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 65-76, 1999.

KENNEDY, A. C. Microbial Diversity in Agroecosystem. Quality. In: COLLINS, W.W.; QUALSET. C. O. **Biodiversity in Agroecosystems**. New York: CRC, 1998. cap. 1, p. 1-17.

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

LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*, Washington, v. 165, n. 1, p. 73-86, 2000.

LYNCH, J. M. **Biotecnologia do solo: fatores agrobiológicos na produtividade agrícola**. São Paulo: Manole, 1986. 209p.

MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C.; PAGE, E.R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *Journal Soil Science*. 38:71-77, 1987.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: 2. ed. Editora UFLA. 729p, 2006.

PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar*, São Paulo, v. 44, 32-38. 1988.

ROSSETTO, A. J. Utilização Agronômica dos Subprodutos e Resíduos da Indústria Açucareira e Alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) **Cana-de-açúcar - cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2.4.p.433-504.

ROSADO, A. S. Diversidade e ecologia de microrganismos do solo. In: **reunião brasileira de fertilidade e nutrição de plantas, 23; reunião brasileira sobre micorrizas, 7; simpósio brasileiro de micro-biologia do solo, 5; reunião brasileira de biologia do solo, 2**, 2000, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, 2000. CD-ROM..

SILVA, M. A. S; GRIEBELER, N. P., BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2007, Campina Grande - PB. v.11, n.1, p.108-114.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. *Geoderma*, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

SUTTON, B.C. **The Coelomycetes**. Surrey: CABI Publications, 1980. 696p.

TAUK, S. M.. Biodegradação de Resíduos Orgânicos no Solo. **Revista Brasileira de Geociência** 20 (1-4):299-301. 1990.

VENSKE FILHO, S. P. **Biomassa microbiana do solo sob sistemas de plantio direto na região de Campos Gerais, Tibagi, PR.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2003. 86p.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (Org.) **Plant as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment.** Weinheim: VCH, 1993. p. 3-27.

ZILLI et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

CAPÍTULO III

6. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM VERTISSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) COM E SEM ADIÇÃO DE VINHAÇA POR LONGO TEMPO.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação da vinhaça sobre as propriedades químicas de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) por longo tempo, nas áreas com fertirrigação com vinhaça e sem fertirrigação, comparando os atributos químicos em duas áreas cultivadas da Usina São José do Pinheiro no Município de Laranjeiras, Estado de Sergipe. Esta região possui clima, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo As. tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro. O relevo da área é plano a suave ondulado, com predominância de platôs característicos dos tabuleiros costeiros. Áreas agrícolas com solos com argila de alta atividade, como é o caso dos Vertissolos da região do Vale do Cotinguiba no Estado de Sergipe. Área A – Fazenda Poção com Fertirrigação, Área B – Fazenda Faleiro sem Fertirrigação. Nas profundidades 0-15, 15-30 e 15-45 cm. Foram obtidas 60 (sessenta) amostras, as quais foram etiquetadas, lacradas e levadas para o ITPS – Instituto Tecnológico de Pesquisa do Estado de Sergipe, para a realização das análises de macro e micronutrientes. Utilizando-se a metodologia de análise química de solo da EMBRAPA. Observou-se que a aplicação da vinhaça afeta as propriedades químicas do solo com um aumento da matéria orgânica, que possibilita a estabilidade do pH, CTC – Capacidade de troca catiônica, dos macronutrientes e micronutrientes, especialmente na superfície.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; Matéria orgânica; Fertilidade do solo.

ABSTRACT

This work aimed evaluate to evaluate the effect of the application of the vinasse about the chemical attributes of a Vertisoil cultivated with sugar-cane (*S. officinarum* L.) by long time, in the areas with fertirigation with vinasse and without fertirigation, comparing the chemical attributes in two areas cultivated of the Usina São José do Pinheiro in Laranjeiras town, State of Sergipe. This region I possessed climate, according to the classification of Köppen, of the kind The. tropical rainy with dry summer and pluviometria around 1,200 annual mm, with rains concentrated us months of April to September. The prominence of the area is glided to smooth wavy, with predominance of characteristic plateaus of the coastal trays. Agricultural areas with solos with clay of high activity, as is the case of the Vertissolos of the region of the Order of the Cotinguiba in the State of Sergipe. Area A – Farm Potion with Fertirigation, Area B – Farm Faleiro without Fertirigation. In the depths 0-15, 15-30 and 15-45 cm. They were obtained 60 (sixty) samples, the which were labeled, sealed and led for the ITPS – Technological Institute of Research of the State of Sergipe, for the achievement of the analyses of macro and micronutrientes. Utilizing itself the methodology of chemical analysis of soil of the EMBRAPA. It was observed that the application of the vinasse affects the chemical estates of soil with an increase of the organic matter, that enables the stability of the pH, CTC – Capacity of cationic change, of the macronutrientes and micronutrientes, especially in the surface.

Keywords: *Saccharum officinarum*; organic matter; fertility of the soil.

6.1 INTRODUÇÃO

Os mercados, interno e externo, estão à procura de uma energia limpa e renovável, como os biocombustíveis, seja para adição à gasolina ou para uso em automóveis bicombustíveis. A tendência atual do setor da agroenergia brasileira é investir no avanço da cultura canavieira em áreas agricultáveis e produtivas em todas as regiões do país, para a produção do álcool, biocombustível mais consumido e produzido, cerca de dezoito bilhões de litros na última safra (ÚNICA, 2007).

A cana-de-açúcar (*S. officinarum L.*) tem sido cultivada de forma contínua e intensa ao longo dos anos, nos tabuleiros costeiros, na região da zona costeira oriental do Nordeste, onde estão situados. É uma faixa úmida, com precipitação pluviométrica favorável, o que permite o desenvolvimento de um sistema de produção agrícola sem apresentar riscos de secas periódicas (JACOMINE, 1974; apud SANT'ANNA, 2007).

Os Vertissolos são solos de coloração acinzentada ou preta, sem diferença significativa no teor de argila entre a parte superficial e a subsuperficial do solo. No entanto, a característica mais importante é a pronunciada mudança de volume com a variação do teor de umidade devido ao elevado teor de argilas expansivas (argila de atividade alta), tendo como feição morfológica característica e facilmente identificável, a presença de fendas de retração largas e profundas que se abrem desde a superfície do solo nos períodos secos. São de elevada fertilidade química, mas apresentam problemas de natureza física. Ocorrem, predominantemente, na zona seca do Nordeste, no Pantanal Mato-grossense, na Campanha Rio Grandense e no Recôncavo Baiano (OLIVEIRA et al., 1992),

No Estado de Sergipe estão normalmente associados com Chernossolos e, da mesma forma que estes, são originados a partir de calcários e folhelhos de formações cretáceas, localizada na Bacia Cretácea, representada por duas áreas contíguas, separadas pela estreita várzea do rio Siriri, próximo ao município de Rosário do Catete, presentes em uma área aproximada de 58,4 km², ou 0,35% da área do Estado. Os solos desta classe apresentam elevada fertilidade natural, porém de difícil manejo, com sérios problemas de mecanização devido à presença conspícua de argilas expansivas, resultando em intenso fendilhamento e dureza quando estão secos, e grande pegajosidade quando molhados e de drenagem imperfeita. (SOBRAL et al., 2007).

O agroecossistema da cana-de-açúcar tem sido selecionado para estudo nessa pesquisa por possuir relativa expressão econômica no Brasil e ocupação fundiária, gerando grande impacto pelos subprodutos oriundos da produção de açúcar e álcool. Com aproximadamente 5,57 milhões de hectares plantados e uma safra anual de cerca de 427 milhões de toneladas, o país é o maior produtor mundial de cana. A safra 2006/2007 atingiu 29,8 milhões de toneladas de açúcar e 17,7 bilhões de litros de álcool. Esse montante movimenta cerca de 50 bilhões de reais por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 1,5% do PIB brasileiro (ÚNICA 2007; BRASIL, 2008).

Na região nordeste, a produção de cana-de-açúcar tem relevância econômica e social há séculos. Em 2008, plantou-se uma área de 1.352.500 ha, sendo que Alagoas foi quem mais plantou seguido de Pernambuco, Bahia, Paraíba, e Sergipe. O Estado de Sergipe ocupa o 7º lugar na produção de cana-de-açúcar, com uma produção de (safra 2008/2009/ 786,7 toneladas/ano de açúcar e 1.609,8 toneladas/ano de álcool com um rendimento médio de 62.200 kg/ha. A maior produtora de álcool e açúcar da cana no estado é a Usina São José do Pinheiro (CONAB, 2008).

A cana-de-açúcar em Sergipe é cultivada, principalmente, na Mesorregião do Leste sergipano, na faixa litorânea do Estado, sendo responsável, chegando a concentrar 94% da área e produção estadual em 2005 (IBGE, 2008; apud CUENCA e MANDARINO, 2007).

Conforme dados elaborados pela CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, para a previsão de safra de 2008/2009, divulgada em agosto de 2008, houve um aumento na área de cultivo no Estado, passando de 36,7 ha na safra de 2007/2008 para 49,0 ha na safra 2008/2009 (Área em 1.000 ha), sofrendo uma variação positiva de 33,5 % na área plantada de cana-de-açúcar no Estado de Sergipe. Neste período também houve uma variação na produtividade de 16,3%, passando de 52.310,0 kg/ha para 60.817,00 kg/ha, quando comparada também com o período das safras 2001/2005.

A cana-de-açúcar plantada é utilizada para a fabricação de açúcar e álcool. Dentre os subprodutos gerados da fabricação do álcool, destaca-se a vinhaça, que segundo Freire e Cortez (2000), dos resíduos gerados na indústria sucroalcooleira, é o resíduo mais importante devido ao grande volume produzido, pois cada litro de álcool gera uma proporção de 13 litros de vinhaça, esta quantidade depende da tecnologia utilizada nas usinas ou destilarias. Este resíduo apresenta elevada concentração de nutrientes, principalmente de potássio, contribuindo para melhoria da fertilidade do solo. Por outro lado, apresenta alta carga orgânica constituindo em um resíduo altamente poluente. Em função destes fatores, a

alternativa mais viável é a aplicação da vinhaça nos solos cultivados com a própria cana-de-açúcar.

Os efluentes produzidos pelas destilarias de álcool, a vinhaça é a que possui a maior carga poluidora, pois apresenta DBO variando de 20.000 a 35.000 mg/L de vinhaça. O valor econômico que a vinhaça adquiriu a partir de 1975, torna essa hipótese de agente poluidor e, conseqüentemente, de desequilíbrio ambiental, descartável tendo em vista os resultados obtidos e os conhecimentos acumulados sobre o problema (ROSSETTO, 1987).

Larrahondo et al. (2000) citado por Voll (2005) relatam que a vinhaça apresenta na sua composição 15 ácidos orgânicos, dentre os quais, em maior concentração, o glicerol (2,7%), seguido pelo ácido aconítico (1,8%), o sorbitol (1,4%) e o ácido láctico (1,3%). Voll (2005) relata ainda que todos estes compostos são facilmente degradados por microrganismos.

Já se sabe que, em virtude dos elevados níveis de matérias orgânicas e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA et al., 1981).

A prática de aplicação da vinhaça na lavoura, por meio da fertirrigação, é adotada por todas as usinas, com tecnologia bem conhecida, existindo inúmeros ensaios que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola, associados à economia dos adubos minerais (PENATTI et al., 1988).

Silva et al. (2007), estudaram a aplicação da vinhaça ao solo e afirmam que, quando depositada neste solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade; todavia, quando usada para este fim, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, sobretudo do nitrato e do potássio.

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar, mas as pesquisas ainda são em número insipiente e poucas avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA et al., 2003).

Os efeitos de elevação do pH do solo podem ser efêmeros conforme comenta Rodella et al. (1983), podendo retornar aos valores originais após um determinado período de tempo. A elevação da CTC ocorre pelo grande aporte de matéria orgânica representado pelas adições da vinhaça. Pela característica coloidal da matéria orgânica contida na vinhaça, sua adição

confere ao solo uma maior quantidade de cargas negativas, diminuindo a lixiviação de cátions e aumentando, conseqüentemente, a CTC (GLÓRIA e ORLANDO FILHO, 1983).

Cunha et al. (1981), estudando a utilização de vinhaça como fertilizante e condicionador de solos, observaram que a acumulação de potássio no perfil não foi grande, ficando este elemento retido na camada de 0,50 m de profundidade, sendo que sua lixiviação foi pequena, acompanhando a drenagem interna no perfil

Nos Vertissolos, o nutriente potássio apresenta-se com elevado teor, responsável por uma pequena exigência de aporte de fertilizantes. Mesmo assim, o manejo deste solo pela Usina São José do Pinheiro, localizada em Laranjeiras-SE, é fertirrigado com lâminas de até 400 m³ de vinhaça/ha/ano. Estes solos são constituídos pela parte mineral, apresentando pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural, apresentando alta saturação e soma de bases, destacando-se o cálcio e o magnésio, e com elevada capacidade de troca catiônica, motivada pela grande quantidade de argila do grupo da montmorilonita (LYRA et al., 1995).

A necessidade de potássio pelas culturas é muito maior do que a de fósforo, equiparando-se a demanda do nitrogênio, quando se considera as quantidades desses três nutrientes para as plantas. O potássio, segundo Aquino et al. (1993), estimula ao perfilhamento, crescimento vegetativo e aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias, constituindo-se elemento importante na fase de frutificação das plantas.

O potássio no solo encontra-se disponível para as plantas na forma trocável e solúvel, sendo absorvido pelas plantas na forma de K⁺. Nas culturas como a cana-de-açúcar esse elemento, atua no processo de assimilação do carbono e translocação de fotossintetizados (CLEMENTS, 1959).

Coleti et al. (2002), estudando duas recentes variedades de cana-de-açúcar, RB835486 e SP81-3250, observaram que para a cana planta, a ordem de extração dos nutrientes foi: K > N > S > P > Mg > Ca e na cana-soca e foi: K > N > P > Mg > S > Ca. O potencial de crescimento e de desenvolvimento da cana-de-açúcar é limitado pela habilidade da planta em absorver eficientemente nutrientes disponíveis do solo, já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA et al., 1981).

Os vários trabalhos que auxiliam no entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do cultivo contínuo em um sistema de produção de cana-de-açúcar, podem fornecer elementos para produção em bases sustentáveis. Os macro e micronutrientes bem como o conteúdo e a qualidade da matéria orgânica constituem atributos químicos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MIELNICZUK, 1999).

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação da vinhaça sobre os atributos químicos de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (*S. officinarum L.*) por mais de dez anos, nas áreas com fertirrigação com vinhaça e sem fertirrigação.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido utilizando-se amostras deformadas de solo coletadas em áreas de propriedade da Usina São José do Pinheiro, localizada no município de Laranjeiras-SE (S 10° 48' 29'' e WO 37° 09' 37''), que utiliza a vinhaça na fertirrigação das suas áreas agrícolas em solos com argila de alta atividade, como é o caso dos Vertissolos da região do Vale do Cotinguiba. A região possui clima, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo As. tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro. O relevo da área é plano a suave ondulado, com predominância de platôs característicos dos Tabuleiros Costeiros.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo constituído por duas áreas: Área A (cultivada com cana-de-açúcar e fertirrigada com vinhaça por mais de 10 anos), com lâminas de 400 m³ de vinhaça/ha/ano e a Área B (cultivada com cana-de-açúcar sem fertirrigação com vinhaça) e três profundidades de amostragem do solo (tratamentos): 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm, em dez repetições. Para a retirada das amostras deformadas do solo nas três profundidades, em ambas as áreas, foi marcada uma área experimental dentro dos talhões de cana-de-açúcar com as dimensões 50 x 20 m (1000 m²); utilizou-se um trado tipo holandês, para a obtenção das amostras de solo (Figura 1: trado).

As sessenta amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacrados, etiquetadas e armazenadas à temperatura ambiente no Laboratório de Remediação de Solos da Universidade Federal de Sergipe - UFS, até o início das análises químicas no laboratório do ITPS – Instituto Tecnológico de Pesquisa do Estado de Sergipe. A metodologia utilizada foi a da EMBRAPA (1997), para análise de solos.

Os dados obtidos foram submetidos a análise multivariada (MANOVA), através do Software SAS e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 9, 10 e 11, encontram-se os quadrados médios dos parâmetros químicos do solo das duas áreas estudadas e nas três profundidades. Verifica-se que houve efeito significativo da fertirrigação com vinhaça sobre as características químicas do solo de ambas as áreas, todavia, para as três profundidades estudadas, a fertirrigação com este subproduto não apresentou significância estatística para alguns parâmetros. Este mesmo comportamento foi observado por Canellas et al. (2003), os quais estudaram a aplicação de vinhaça ao longo do tempo (55 anos) em cana-de-açúcar queimada e crua.

Na tabela 9, observa-se que houve uma diferença significativa na área para o parâmetro pH. Almeida (1955), em seu trabalho, afirma que a vinhaça é caracterizada como fator de fertilização ou de correção dos solos, é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais, contribuindo para elevação do pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo, além de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

TABELA 9. Quadrados médios dos parâmetros químicos do solo em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

FV	GL	pH	MO g/ dm ³	CTC cmolc/dm ³	PST cmolc/dm ³	V %	SB cmolc/dm ³
Área	1	9,8415**	2626,8167**	2626,8166**	13192,7682**	0,8688**	6.6667**
Profundidade	2	0,2302 ^{ns}	1309,7543**	654,8772 ^{ns}	82,4573 ^{ns}	0,3898**	0.3232 ^{ns}
Área x Prof.	2	0,4835 ^{ns}	83,4103 ^{ns}	41,7052 ^{ns}	71,0413 ^{ns}	0,4879**	0.3252 ^{ns}
Erro	54	12,1530	1565,6260	1458,8845	1404,7630	0,9970	0.1642
CV (%)		7,15	19,70	19,99	18,67	20,25	5.81

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. n.s. Não significativo. FV – Função variável, GL – Grau de Liberdade, pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria Orgânica, CTC – Capacidade de Troca Catiônica, PST – Porcentagem de Sódio Trocável, V – Saturação, SB – Soma de Bases.

TABELA 10. Quadrados médios dos teores de Ca + Mg, Na, K e P em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008

FV	GL	Ca + Mg cmolc/dm ³	Na cmolc/dm ³	K cmolc/dm ³	P cmolc/dm ³
Área	1	13784,3821*	13497,0002*	542203,228*	2021,8815**
Profund.	2	51,8213 ^{ns}	50,1832 ^{ns}	76354,9122*	436,3355 ^{ns}
Área x Prof.	2	32,5595 ^{ns}	501,4302**	114243,463*	287,6195 ^{ns}
Erro	54	26,4503	62,8729	6025,0690*	131,8094
CV (%)		20,27	20,87	43,91	84,82

(**) - (*) Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. NS. Não significativo. FV – Função variável, GL – Grau de Liberdade, Ca + Mg – Cálcio + Magnésio, Na – Sódio, K – Potássio, P – Fósforo.

TABELA 11. Quadrados médios dos teores de micronutrientes em duas áreas com e sem fertirrigação e em três profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

FV	GL	Fe cmolc/dm ³	Cu cmolc/dm ³	Mn cmolc/dm ³	Zn cmolc/dm ³
Área	1	2869,0335*	29463314,05 *	163,7132*	4618404,960 *
Profund.	2	77,9912 ^{ns}	2377607,22 ^{ns}	2,8919 ^{ns}	132184,671 ^{ns}
Área x Prof.	2	52,6115 ^{ns}	2205142,03 ^{ns}	2,5165 ^{ns}	106465,579 ^{ns}
Erro	54	23,4736	769365,53	1,2731	32725,309
CV (%)		5,31	10,11	66,26	48,21

* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. NS. Não significativo. FV – Função variável. GL – Grau de Liberdade, Fe – Ferro, Cu – Cobre, Mn – Manganês, Zn – Zinco.

Nas tabelas 12 e 13 observa-se que a aplicação de vinhaça aumentou os parâmetros químicos pH, MO, CTC, PST, V, SB, bem como os teores de Ca⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e Fe²⁺ no solo da área A e, no solo da área B, os parâmetros Cu, Mn e Zn foram mais altos.

TABELA 12. Teores de pH, MO, CTC, PST, V e SB de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado (Área A) e sem fertirrigação com vinhaça (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

Áreas	pH	MO g/dm ³	CTC cmolc/dm ³	PST cmolc/dm ³	V %	SB cmolc/dm ³
ÁREA A	7,31 a	33,94 a	41,47 a	42,15 a	55 a	41,47a
ÁREA B	6,64 a	20,71 b	10,52 b	12,49 b	79 b	10,53b

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria Orgânica, CTC – Capacidade de Troca Catiônica, PST – Porcentagem de Sódio Trocável, V – Saturação, SB – Soma de Bases.

Foi observada diferença significativa para Ca, Mg, Na, K, P disponíveis entre as amostras do solo cultivado com vinhaça e sem vinhaça (Tabela 13). Esse efeito mostra a importância de se aplicar o resíduo para complementar as adubações de manutenção da cana-de-açúcar. Brito et al. (2005), em trabalho com três tipos de solos: Nitossolo, Argissolo e Espodosolo, afirmam que os resultados encontrados mostram elevação de Na⁺ nos lixiviados dos solos que receberam aplicações de vinhaça, podendo haver competição nos sítios de troca com o K; além do que, aos 30 dias, segundo os autores, o aumento da concentração de Na obedeceu a uma tendência de que, quanto maior a dose aplicada, maior também o teor no lixiviado nos três solos utilizados.

Neste trabalho, observa-se um aumento significativo do potássio na área fertirrigada de pelo menos três vezes, quando comparado com a área não fertirrigada (Tabela 13). Em um experimento em área fertirrigada com vinhaça desenvolvido por Gonzalo et al. (2005) mostraram excesso de potássio na camada superficial de onze vezes a recomendada de K₂O/ha para cana-soca, significando que parte deste excesso foi lixiviado no perfil do solo. Dessa forma, o estudo com doses de vinhaça em solos de área canavieira torna-se bastante importante para recomendação agrônômica, uma vez que a aplicação no campo não considera a necessidade da cultura e não há preocupação com a degradação química do solo.

TABELA 13. Teores de Ca + Mg, Na, K, P, Fe, Cu, Mn e Zn de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado com vinhaça (Área A) e não fertirrigado (Área B). Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

Macronutrientes				
Áreas	Ca + Mg cmolc/dm ³	Na cmolc/dm ³	K cmolc/dm ³	P cmolc/dm ³
ÁREA A	40,63 a	52,97 a	271,83 a	19,34 a
ÁREA B	10,04 b	22,97 b	81,71 b	7,73 b
Micronutrientes				
	Fe mg/dm ³	Cu mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Zn mg/dm ³
ÁREA A	98,17 a	166,59 b	0,051 b	97,80 b
ÁREA B	84,34 b	1568,10 a	3,350 a	652,68 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Ca + Mg – Cálcio + Magnésio, Na – Sódio, K – Potássio, P – Fósforo. Fe – Ferro, Cu – Cobre, Mn – Manganês, Zn – Zinco.

Cambuim (1983) estudou o efeito da aplicação de três doses de vinhaça (0, 200 e 400 m³ ha⁻¹) no lixiviado, em diferentes tempos de incubação, encontrando diferenças significativas na concentração de K, quando comparado com o lixiviado da testemunha, que só recebeu água. O efeito foi mais pronunciado nos primeiros 30 cm de profundidade do solo, com acréscimo nos teores de K⁺ e redução de Na⁺ trocável, observando-se também que, via de regra, o período de incubação atuou mais diretamente sobre esses efeitos que as doses testadas.

Camargo et al. (1983) obtiveram respostas positivas quanto à saturação de potássio, capacidade de troca de cátions, entre outros parâmetros, quando trabalharam com amostras de Latossolo textura média, as quais foram tratadas por longo tempo com diferentes quantidades de vinhaça, intercaladas com períodos de repouso do solo; os autores citam que o aumento excessivo da concentração de potássio no solo, em algumas áreas, pode levar, dependendo da cultura a ser implantada, a desequilíbrios nutricionais considerados.

Na presente pesquisa, também foram verificadas elevações dos parâmetros químicos estudados para o Vertissolo, como relatados pelos autores acima. Essa melhora das características químicas se traduz por melhor condução e produção da cultura, bem como, pela diminuição da aplicação de fertilizantes minerais, como é o caso do cloreto de potássio.

Vale ressaltar que a área fertirrigada, foco do estudo, vem recebendo as doses de vinhaça há mais de 10 anos.

A comparação de médias para as variáveis pH, MO., CTC, PST, V(%) e SB, nas três profundidades (Tabela 13), indica que houve efeito significativo da vinhaça sobre o teor de MO. e para V (%) e (SB) nas duas áreas estudadas. A matéria orgânica, presente na vinhaça, provavelmente, por ter a forma líquida, percolou no perfil do solo (de 0 a 45 cm), diferenciando os teores nas três profundidades, com maior concentração na camada de 0 a 15 cm (33,49 g/dm³). Moreira e Siqueira (2006), afirmam que a matéria orgânica do solo, representa 5% do volume total do solo, 45% é representado pela parte sólida e 50%, o espaço poroso (fase líquida e gasosa).

Silva et al. (2007) afirmam que no momento em que a matéria orgânica contida na vinhaça é incorporada ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio preparando, deste modo, o solo para a reprodução de bactérias; assim, quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento desses microrganismos os quais atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos. A saturação por bases apresentou comportamento inverso, ou seja, a maior porcentagem foi encontrada na camada de 30 a 45 cm, com valor de 0,79%. Os solos mais argilosos apresentaram os maiores valores de SB e CTC, enquanto que os arenosos apresentaram os menores, coincidindo com o observado por SANTOS FILHO (1985) e SANTOS FILHO e ROCHA (1987).

TABELA 14. Valores médios dos parâmetros da análise química (pH, MO, CTC, PST, V% e SB) de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (com e sem fertirrigação com vinhaça) em três profundidades em duas áreas. Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

Parâmetros	Áreas	Profundidades (cm)		
		0-15	15-30	30-45
pH	A	6,95 A a	7,07 A b	7,08 A b
	B	6,41 B a	6,33 B a	5,93 B b
MO g/dm ³	A	41,66 A a	32,66 A b	27,50 A c
	B	25,32 B a	19,93 B b	16,87 B c
CTC cmolc/dm ³	A	40,13 A a	44,70 A b	39,57 A c
	B	10,40 B a	10,87 B b	10,28 B c
PST cmolc/dm ³	A	40,90 A a	45,28 A b	40,26 A c
	B	11,97 B b	12,67 B b	12,83 B b
V%	A	0,57 A b	0,54 A b	0,53 A a
	B	0,70 B a	0,64 B b	1,02 B c
SB cmolc/dm ³	A	25,30 A a	27,75 A b	24,95 A a
	B	10,53 B b	10,80 B b	11,60 B b

Médias seguidas de mesma letra na coluna (maiúscula) e linha (minúscula) não diferem entre si a ($P < 5\%$) pelo teste de Tukey. . pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria Orgânica, CTC – Capacidade de Troca Catiônica, PST – Porcentagem de Sódio Trocável, V – Saturação, SB – Soma de Bases.

Houve diferença significativa entre as áreas A e B em cada profundidade, para os parâmetros pH, MO, CTC, PST, V% e SB (Tabela 14) do solo. Comportamento semelhante foi observado por Canellas et al. (2003). O teor de MO diferenciou significativamente entre as profundidades, verificando-se maior teor na camada de 0 a 15 cm, ficando em 33,49 g/dm³ (Tabela 12) de TFSA (Terra fina seca ao ar), provavelmente influenciado pelo aporte da vinhaça o qual foi maior nessa camada. A contribuição da matéria orgânica para CTC dos solos é importante e foi estimada entre 56 e 82 % da CTC de solos sob condições tropicais (Raij, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação.

O pH dos solos tratados com vinhaça aumenta principalmente em áreas cultivadas há mais tempo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra uma redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete; este efeito está ligado à ação dos microrganismos (ROSSETTO, 1987); (SILVA e RIBEIRO 1998),

Orlando Filho et al. (1983) citam que a elevação do pH foi observada em uma área fertirrigada com esse subproduto por 20 anos. Nesse período, não houve efeitos negativos nas propriedades químicas dos solos estudados. Os autores afirmam que a aplicação do resíduo é favorável, traduzida pela elevação dos teores de K, Ca, Mg, da SB e da CTC do solo, como o observado no presente trabalho.

Cambuim (1983), citado por Silva et al. (2007), trabalhando com colunas de solo Neossolo Quartzarênico e com duas doses de vinhaça, verificou que a lixiviação de cálcio, magnésio e potássio, ocorreu quase na mesma proporção das doses aplicadas havendo, ainda, redução nos teores de micronutrientes no lixiviado quando o tempo de incubação da vinhaça no solo foi maior, ou seja, quanto maior for o intervalo entre a aplicação de vinhaça e a ocorrência de chuvas, maior também será a adsorção de micronutrientes nos sítios de troca do solo.

TABELA 15. Valores médios dos teores de Ca+Mg, Na, K e P de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar em Áreas com e sem fertirrigação com vinhaça em três profundidades. Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

Macronutrientes	Áreas	Profundidades (cm)		
		0-15	15-30	30-45
Ca+Mg	A	38,79 A a	43,86 A a	38,94 A b
cmolc/dm ³	B	10,07 B a	10,60 B a	9,96 B a
Na	A	54,00 A a	55,89 A a	49,02 A a
cmolc/dm ³	B	19,49 B a	18,93 B a	30,50 B b
K	A	425,80 A a	227,83 A b	161,87 A c
cmolc/dm ³	B	97,62 B a	75,49 B b	72,02 B b
P	A	28,74 A a	16,92 A b	12,36 A c
cmolc/dm	B	8,83 B a	7,04 B a	7,32 B a

Médias seguidas de mesma letra na coluna (maiúscula) e linha (minúscula) não diferem entre si a (P<5%) pelo teste de Tukey. Ca + Mg – Cálcio + Magnésio, Na – Sódio, K – Potássio, P – Fósforo.

Para os teores de macronutrientes houve diferença significativa, entre as Áreas estudadas houve um aporte maior de macronutrientes, principalmente nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm (Tabela 15). Verifica-se que, entre as três profundidades, o K apresentou variações significativas, sendo a camada de 0 a 15 cm, aquela que apresentou maior concentração, ficando em 425,80 cmolc/dm³; ou seja, 2,63 vezes maior do que a concentração

desse nutriente na profundidade de 30 a 45 cm. Pode-se inferir que, apesar da sua forma líquida, a vinhaça tende a concentrar o potássio nas camadas superiores do solo da área fertirrigada. Tal comportamento foi observado na superfície do solo da área fertirrigada, bem como a diminuição dos teores em profundidade, o qual foi verificado por vários pesquisadores em outras culturas (Centurion et al., 1985; Eltz et al., 1989; Bayer e Mielniczuk, 1997; Souza e Alves, 2003). Os autores explicam que este comportamento é observado principalmente nos sistemas de plantio direto, pelo não revolvimento do solo, favorecendo o acúmulo de nutrientes na superfície e, no caso do fósforo, pela sua baixa mobilidade no solo (Centurion et al., 1985; DE Maria e Castro, 1993; Silveira e Stone, 2001). Cunha et al. (1981) pesquisando a utilização de vinhaça como fertilizante e condicionador de solos, verificaram que a acumulação de potássio no perfil não foi grande, ficando este elemento retido na camada de 0,50 m de profundidade, sendo que sua lixiviação foi pequena, acompanhando a drenagem interna no perfil.

TABELA 16. Valores médios dos teores de Fe, Cu, Mn e Zn de um Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar em Áreas com e sem fertirrigação em três profundidades. Laranjeiras-SE, UFS, 2008.

Micronutrientes	Áreas	Profundidades (cm)		
		0-15	15-30	30-45
Fe	A	98,10 A b	98,73 A a	97,67 A c
cmolc/dm ³	B	87,10 B b	85,61 B b	80,30 B b
Cu	A	173,45 A b	142,42 A b	183,91 A b
cmolc/dm ³	B	2301,20 B b	967,60 B b	1435,50 B b
Mn	A	0,070 A b	0,013 A b	0,070 A a
cmolc/dm ³	B	4,147 B b	2,696 B b	3,221 B a
Zn	A	105,61 A b	86,04 A b	101,74 A b
cmolc/dm ³	B	826,20 B b	531,63 B b	600,20 B b

Médias seguidas de mesma letra na coluna (maiúscula) e linha (minúscula) não diferem entre si a (P<5%) pelo teste de Tukey. Fe – Ferro, Cu – Cobre, Mn – Manganês, Zn – Zinco.

Os teores de micronutrientes estudados também variaram entre as áreas e nas três profundidades (Tabela 16). Houve um maior aporte de Cu, Mn e Zn nas camadas de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm, observado nas duas áreas estudadas, embora tenha-se verificado uma quantidade maior de Cu na área B. Para o Fe, houve diferença significativa entre as três profundidades na área A. De acordo com Canellas et al. (2003), na área de cana com vinhaça, comparada àquela sem vinhaça, houve acréscimo significativo nos teores de Cu, Zn e Mn, na camada de solo de 0 a 0,20 m, e de Cu e Fe, na camada de 0,20 a 0,40 m, não sendo encontrado valores semelhantes nos resultados obtidos no presente trabalho. Segundo Bolsanello e Vieira (1980), a vinhaça na região de Campos dos Goytacazes, além de matéria orgânica, revelou altos teores de Zn, Mn e Cu e sua aplicação num Cambissolo localizado em Campos-RJ aumentou principalmente os teores de Zn (RAMALHO e AMARAL SOBRINHO, 2001).

Reis e Monnerat (2002) estudaram a condição nutricional dos canaviais da região de Campos dos Goytacazes (RJ) e encontraram os elementos P, K, S, Zn e Cu como os mais limitantes para essa espécie. À exceção do enxofre, que não foi determinado neste trabalho, todos os outros elementos tiveram seus teores aumentados na área fertirrigada com vinhaça, em comparação à área sem vinhaça. Pode-se inferir que a adição de vinhaça pode ser uma estratégia importante na manutenção e no aumento da fertilidade do solo em longo prazo em lavouras de cana-de-açúcar.

Com os resultados obtidos das análises químicas do Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar, com aplicação de vinhaça na área estudada, verificou-se alteração nas características químicas contribuindo com a fertilidade, não sendo observada degradação do solo.

6.4 CONCLUSÕES

- A aplicação de vinhaça ao solo no cultivo com cana-de-açúcar, afeta as propriedades químicas do Vertissolo, presente na área da pesquisa;
- A matéria orgânica contribui para absorver o potássio no perfil 0-15 cm de profundidade, contribuindo para o aporte desse nutriente para a planta;
- Na área de cana-de-açúcar com vinhaça, comparada àquela sem vinhaça, não houve diferença significativa nos teores de micronutrientes, nas profundidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, v. 46, n. 2, p. 72-77, 1955.

AQUINO, A. B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.235-239, 1997.

BRASIL. **Ministério da Agricultura**. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 13 de maio de 2008.

BRITO F. L.; ROLIM, M. M; PEDROSA, E. M. R.. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Campina Grande-PB: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.52-56, 2005.

BOLSANELLO, J.; VIEIRA, J.R. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça da região de Campos-RJ. **Brasil Açucareiro**, 96:45-59, 1980.

CAMBUIM, F. A. **A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso**. Dissertação de Mestrado. Recife: UFRPE, 1983. 133p.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. **Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas**, 1983, 30p. (IAC. Boletim Científico, 76).

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANA, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:935-944, 2003.

CENTURION, J.F. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.267-270, 1985.

CLEMENTS, H. F. **Sugarcane nutrition and culture**. Lucknow, Indian Institute of Sugar Reseach, 1959. 189p.

COLETI, J.T. et al. Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83 486 e SP81 3250. **CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. 8 Anais**. Recife: [s.n.], 2002. p.316-321,

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (**Previsão da safra 2007/2008**). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>, acesso em 23 de novembro de 2008.

CUENCA, M. A. G. MANDARINO, D. C. **Mudança da Atividade Canavieira nos Principais Municípios Produtores do Estado de Sergipe de 1990 a 2005**. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007

CUNHA, R. C. A.; Costa, A. C. S.; Maset Filho, B.; Casarini, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.4, p.471-477, 1993.

ELTZ, F.L.F. et al. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

FREIRE, W. J.; CORTÊZ, L. A. B. 2000. Vinhaça de cana-de-açúcar. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Editora Agropecuária. 203p.

GONZALO, D.D.P.; CASA GRANDE, J. C.; SOARES, M.R. **Lixiviação** de potássio em solos adubados com vinhaça. In: **XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2005, Recife. Anais...Recife: SBCS, 2005

GLÓRIA, N. A.; Orlando Filho, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em outubro de 2008.

JACOMINE, P.K.T. **Fragipans em solos de “tabuleiros”:** Caracterização, gênese e implicações no uso agrícola. Recife-PE, UFPE, 1974. 83p. Tese Livre Docente em Agronomia.

LARRAHONDO, J. E.; MORALES, A. A.; VICTORIA, M. H.; JARAMILLO, A.
In: Carta-Trimestral - CENICANA, v. 22, n. 3, p. 5-6, 2000.

LYRA, M.C.C.P.; RIBEIRO, M.R. & RODRIGUES, J.J.V. Caracterização de Vertissolos em projetos de irrigação na região do baixo-médio São Francisco: II. Propriedades morfológicas, físicas e químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:441-448, 1995.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR., E.; AGUJARU, R. Efeito da Aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana de açúcar: estudo exploratório. **Stab**, Piracicaba, v.1, p.28-33, 1983.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-7.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: 2. ed. Editora UFLA. 729p, 2006.

PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 44 32-38. 1988.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFÓS, 1991. 343 p.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Flor Ambiente**, 8:120-129, 2001.

REIS, R.A.; MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ-Brasil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:67-372, 2002.

RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E.; ORLANDO FILHO, J.O. Calibração de análises de fósforo e potássio no solo em cana-de-açúcar, 2ª. aproximação. **Saccharum**, São Paulo, n.28, p.39-42, 1983.

ROSSETTO, A. J. Utilização Agronômica dos Subprodutos e Resíduos da Indústria Açucareira e Alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2.4.p.433-504.

SANT'ANNA, S. A. C. **Avaliação de indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas, apresentada ao NEREN – Núcleo de Estudos de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFS-Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão-SE, 2007. 57p.

SANTOS FILHO, A. Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos do Estado do Paraná. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 7, p. 43-46, 1985.

SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, p. 107-111, 1987.

SILVA, M. A. S. DA, GRIEBELER, N. P., BORGES. L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, Campina grande-PB, 2007.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.291-299, 1998.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de cultura e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.387-394, 2001.

SOBRAL, L. F.; VIÉGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe**. Aracaju: Emprapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251 p.

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

UNICA. **Informativo da UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar**. ANO 9, Nº 76, Maio/Junho 2007. p.2-3.

VOLL, C. E. **Aplicação da vinhaça e do extrato de palhiço de cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas**. Dissertação de Mestrado apresentado à ESALQ/USP, 2005. 45p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição deste trabalho foi o de estudar os atributos biológicos e químicos de um Vertissolo com aplicação de vinhaça em um canavial por mais de dez anos de cultivo da cana-de-açúcar. Os solos são a base da vida na Terra, pois neles estão a matéria prima que vai se constituir na biomassa vegetal e animal no planeta, para depois completar o ciclo biogeoquímico. Os resíduos oriundos da indústria podem ser aproveitados de uma forma racional, como é o caso da vinhaça estudada neste trabalho, e que colabora com a fertilidade do solo, contribuindo com os nutrientes retirados do mesmo, quando do crescimento vegetativo da planta.

Estudar um sistema de produção como o da cultura da cana-de-açúcar é resgatar um pouco da história de colonização deste país, uma vez que a mesma determinou o uso e ocupação do solo em quase todas as regiões onde existe um solo propício. A sustentabilidade do agroecossistema cana-de-açúcar está vinculada ao manejo do solo e na resiliência que a produção vegetal pode resultar.

O estudo de aplicação de vinhaça ao solo está consolidado desde os primeiros estudos a partir dos anos 1950, de lá para cá, muitos são os trabalhos que tratam desse assunto, acentuando-se na década de 1990. A legislação ambiental trata com um cuidado especial para que esse subproduto não cause problemas ambientais nas bacias hidrográficas próximas às usinas e destilarias. A vinhaça é o principal resíduo líquido da indústria sucroalcooleira e apresenta, na sua composição, quantidade significativa de elementos químicos e de matéria orgânica essencial à planta.

Como visto no trabalho, nos sistemas de produção com maior aporte de matéria orgânica, como nos de cana com vinhaça, é possível indicar alguns benefícios ambientais e econômicos, tais como: a diminuição dos custos de renovação do canavial, decorrente de sua maior longevidade; a disposição de resíduos poluentes; a reciclagem de nutrientes, a diminuição da emissão de gases, fuligem e a eliminação das perdas de nutrientes, perdas atribuídas à queima da palhada da cana-de-açúcar por ocasião da colheita.

A partir destas afirmações, o uso da vinhaça na fertirrigação tem sido a técnica agrícola mais utilizada na reabilitação do solo componente do sistema de produção, fechando o ciclo de entradas e saídas, gerando com isso, algumas propriedades como a estabilidade, a resiliência e a sustentabilidade ambiental do agroecossistema, uma vez que, como foi visto os

macronutrientes e micronutrientes presentes no solo e essenciais à planta, são devolvidos com a aplicação da vinhaça ao solo.

As tecnologias utilizadas para a aplicação da vinhaça neste sistema de produção da Usina São José do Pinheiro em Laranjeiras-SE, são bem adaptadas aos diversos relevos e nas diversas regiões do país. Nota-se com isso, uma consolidação de uma apropriação de conhecimentos acumulados e difundidos em quase todas as regiões onde existem a cultura da cana-de-açúcar e a produção de álcool como produto final.

Neste trabalho se verificou que a aplicação de vinhaça nas terras agrícolas da Usina São José do Pinheiro, em Laranjeiras, no Estado de Sergipe, tem sido utilizada com as mesmas tecnologias existentes em outras regiões e tem gerado efeitos positivos à planta e conseqüentemente, aos produtos originados na indústria de açúcar e álcool. De um modo geral, os resultados obtidos mostraram que a fertirrigação com a vinhaça ao solo não trouxe maiores preocupações quanto às questões ambientais.

Os atributos biológicos e químicos estudados podem servir de parâmetro para outros pesquisadores, pois como foi visto, contribuem para uma melhora na manutenção da qualidade do Vertissolo, onde o subproduto é aplicado, comparando com a outra área que não é fertirrigada.